DIE NATURWISSENSCHAFTEN

31. Jahrgang | 3. Dezember 1943 | Heft 49/50

Arnold Sommerfeld zum 75. Geburtstag.

Der 2. Band seiner Vorlesungen über theoretische Physik.

Die Veröffentlichung des zweiten Bandes der Vorlesungen über die theoretische Physik[1]) von ARNOLD SOMMERFELD trifft mit seinem 75. Geburtstage, den er am 5. Dezember feiert, zusammen.

Diese Reihe von Büchern ist geeignet, das Rätsel der unerhörten und ununterbrochenen Lehrerfolge, die während so vieler Jahrzehnte die Laufbahn SOMMERFELDS begleitet — man möchte fast sagen, wenn man nicht eines besseren belehrt wäre, gekennzeichnet — haben, zu lösen. Für diejenigen, die, wie der Schreiber dieser Zeilen, den Vorzug haben, die Denkart SOMMERFELDS genau zu kennen und durch einen regelmäßigen Verkehr mit ihm darüber unterrichtet zu sein, wie er die mathematische Physik und die Behandlung ihrer Probleme auffaßt, ist der Einfluß, den er auf die besten seiner Schüler, von denen so viele unter die allerersten Physiker unserer Zeit zählen, ausgeübt hat, immer als etwas Selbstverständliches erschienen. Dieser Einfluß, der sich auf privaten und intimen Verkehr gründet, kann weder auf weite Personenkreise übertragen noch durch den Druck vervielfältigt werden. Daneben war aber für die Unterrichtsart SOMMERFELDS charakteristisch, daß er auch die weniger Begabten auf ein Niveau brachte, das man bei Durchschnittsstudenten nur selten antrifft. Dieses Resultat ist das Ergebnis der Kunst, mit welcher er den Stoff zu gliedern wußte und durch die wunderbarsten Beispiele illustrierte, einer Kunst, die erst durch die jetzige Publikation in ihrem vollen Glanze erscheint; so daß diese Seite seiner Fähigkeiten auch für seine besten Freunde als eine Offenbarung gelten muß. Wir müssen ihm dankbar sein, daß er sich entschlossen hat, die Vorlesungen, die in seinem Geiste (im Gegensatz zu seiner Atomphysik) nur für junge Studenten bestimmt waren, dem großen Publikum zugänglich zu machen, so daß diese seine Bücher auch in der Zukunft weite Kreise von jüngeren und älteren Physikern anregen und befruchten werden.

Vor einigen Monaten ist an dieser Stelle[2]) eine Besprechung des ersten Bandes der SOMMERFELDschen Vorlesungen durch HEISENBERG erschienen, in welcher die Hauptmerkmale dieser Vorlesungen in knappen Worten so trefflich charakterisiert sind, daß es schwer fällt, diesem endgültigen Urteil noch wesentliche Züge hinzuzufügen. Nur diejenigen Empfindungen, die bei einem gänzlich Unbeteiligten durch die erste, unvermutete Begegnung mit den SOMMERFELDschen Vorlesungen hervorgerufen werden, müssen selbstverständlich bei HEISENBERG fehlen, der den ganzen Turnus dieser Vorlesungen von seiner Studentenzeit her kennt. Dazu kommt, daß der erste Band, der die Mechanik von Systemen mit endlich vielen Freiheitsgraden behandelt, gewissermaßen nur die Ouvertüre der ganzen Komposition bildet, während wir uns beim zweiten Band mit der Mechanik der Kontinua schon mediis in rebus befinden.

Man kann vielleicht sagen, daß dieser Band sogar einer der wichtigsten des ganzen Zyklus sein wird, da er das Fundament für die mathematische Behandlung der makroskopischen physikalischen Erscheinungen einschließlich der MAXWELLschen Elektrizitätslehre enthält. In einem Augenblick, wo wir uns bei der Entwicklung der Physik gewissermaßen innerhalb einer Diskontinuitätsschicht befinden, von der sich viele Wirbel unverhofft ablösen, kann man schwer sagen, welcher Teil der später zu behandelnden Gegenstände nach 50 Jahren noch seine Gültigkeit beibehalten wird. Aber hier befinden wir uns noch auf dem klassischsten Boden: die ganze Anlage des SOMMERFELDschen Buches ist von derjenigen der *Hydrodynamica* DANIEL BERNOULLIS, die vor mehr als 200 Jahren erschienen ist, gar nicht so sehr entfernt, als es ein oberflächlicher Vergleich oder die Diskrepanz des Titels vermuten lassen könnte. Denn BERNOULLI, der das Wort Hydrodynamik geprägt hat, hat darunter die ganze Mechanik der Kontinua verstanden. Und der Vergleich mit dem Hauptwerke des Begründers der mathematischen Physik, dessen ungeheuerer Einfluß auf die besten Köpfe seiner Zeit heute leider nur noch ganz wenigen Historikern bewußt ist, scheint mir kein übertriebenes Kompliment für das SOMMERFELDsche Buch zu sein. Hier wie dort finden wir die weiseste Mischung der mathematischen Theorien mit der experimentellen Wirklichkeit, während z. B. bei allen mir bekannten Darstellungen des 19. Jahrhunderts die mathematischen Entwicklungen zu sehr in den Vordergrund gestellt wurden.

Was dem Mathematiker bei der SOMMERFELDschen Behandlung der schwierigsten Prozesse der Analysis am meisten imponiert, ist die Art, mit der er durch Streichung aller unwesentlichen Einzelheiten ein Gerüst stehen läßt, welches für das Verständnis des Zusammenhanges und für die Benutzung der Formeln am geeignetsten ist, und das jeder durch Anbringung der fehlenden Stützpfeiler tragfähig machen kann. Man lese z. B. unter diesem

[1]) ARNOLD SOMMERFELD, Vorlesungen über theoretische Physik, Bd. II: Mechanik der deformierbaren Medien. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft Becker u. Erler 1944.

[2]) Naturwiss. **1943**, Heft 29/30, S. 350.

Gesichtspunkte im § 27 des besprochenen Buches die Behandlung der BESSELschen Funktionen, im § 15 die Ableitung der MCCULLAGHschen Gleichungen, im § 17 die Einführung in die Kapillarität, eine Liste, die sich beliebig erweitern läßt.

Nur noch einige Worte über den Inhalt des Buches selbst. Dabei muß ich aber der Versuchung widerstehen, zu zeigen, wie die lose Aneinanderreihung der verschiedensten Gegenstände einer höheren Systematik gehorcht, und wie der Faden der Ariadne, der durch das ganze Werk läuft, auch bei den kühnsten Sprüngen von einem Problem zum anderen, nie aus der Hand fallen gelassen wird. Den Auftakt bildet ein erstes Kapitel über die Kinematik (oder vielmehr die Geometrie) der deformierbaren Medien. Es folgt ein Kapitel über die Statik dieser Medien, in welchem nacheinander die inkompressiblen Flüssigkeiten, die Gase, die elastischen Körper, die reibenden Medien (laminare Strömungen) behandelt werden. Im dritten Kapitel werden die EULERschen und die BERNOULLIschen Gleichungen mit einem Exkurs über ihre Ableitung durch das HAMILTONsche Prinzip, die Anwendung dieser Gleichungen auf akustische Fragen und die Dynamik der elastischen Medien besprochen. Darauf folgt das schon erwähnte Äthermodell von MCCULLAGH (und W. THOMPSON) und ein mit außerordentlicher Kunst geschriebener Abriß des Turbulenzproblems. Das vierte Kapitel enthält eine ziemlich vollständige, aber nicht zu weitläufige Darstellung der HELMHOLTZschen Wirbeltheorie. Das fünfte Kapitel handelt von Schwerewellen in tiefem und seichtem Wasser und auch von Kapillarwellen, wobei die Übergangserscheinungen nicht vergessen werden und die Theorie der Gruppengeschwindigkeit ganz meisterhaft auseinandergesetzt wird. Das sechste Kapitel enthält Randwertprobleme, u. a. wird auch die v. KÁRMÁNsche Wirbelstraße behandelt. Das siebente Kapitel ist „Ergänzungen zur Hydrodynamik" betitelt. Dort finden wir z. B. das STOKEsche Gesetz und die Theorie der Schmiermittelreibung, die von SOMMERFELD selbst herrührt. Im achten Kapitel werden u. a. die Elastizitätsgrenzen untersucht, bei welchen das lineare Gesetz aufhört, und auch die Elastizität von makroskopischen Einkristallen. Den Schluß bildet die berühmte Sammlung von Aufgaben, fast das wichtigste am ganzen Werke.

C. CARATHÉODORY, Universität München.

Warum hat der diploide Zustand bei den Organismen den größeren Selektionswert?

Von FRITZ v. WETTSTEIN, Berlin-Dahlem.

Es sind alte Fragen von hohem Interesse, warum im Pflanzenreich viele Gruppen als Haplonten mit einfachem Genom begannen und im Laufe der phylogenetischen Entwicklung über Formen mit antithetischem Generationswechsel zu reinen Diplonten mit doppeltem Genom gelangt sind? Warum im Tierreich mit wenigen Ausnahmen überhaupt fast nur diploide Organismen zu finden sind? Und warum mit dieser Entwicklung vom haploiden zum diploiden Zustand eine höhere Differenzierung verbunden ist, so daß die Haplonten meist nur über einfache Thallusbildungen verfügen, während die Diplonten mit komplizierter Organisation überall die Stufen der Entwicklung mit höchster Organgestaltung einnehmen? *Was ist der Vorteil des diploiden Zustandes, was ist sein Selektionswert im Laufe des Evolutionsgeschehens?*

Verschiedenes kann man zur Beantwortung dieser Frage heranziehen. Zunächst wäre daran zu denken, daß vielleicht die diploide Zelle eine größere Widerstandsfähigkeit besitzt, oder daß zum Aufbau komplizierterer Gewebe und Organe diploide Zellen besser befähigt sind. Man könnte daran denken, daß die doppelte Anlagenmenge für verschiedene Leistungen notwendig oder günstiger wäre. Einige Beobachtungen an experimentellem Material lassen sich hier auswerten.

Schon vor längerer Zeit wurden vergleichende Beobachtungen an haploiden und diploiden Moosgametophyten unter verschiedensten Kulturbedingungen durchgeführt. Die Pflanzen unterschieden sich nur durch die Genomzahl, die Genome selbst waren identisch. Vielfach fand sich eine größere Variabilität der diploiden Gametophyten, was vielleicht auf eine plastischere Reaktionsfähigkeit den Außenbedingungen gegenüber schließen läßt. Wesentliche Unterschiede in der Organbildungsfähigkeit fanden sich aber im allgemeinen nicht. Nur bei dem Laubmoos *Phascum cuspidatum* zeigte sich, daß der diploide Gametophyt direkt auf vegetativem Wege Sporogone bilden kann, während die haploide Pflanze dies in keinem Falle zustande bringt. Bei ihr erfolgt die Sporogonbildung erst über die Befruchtung, wenn durch die Kernverschmelzung der Gameten wieder der diploide Zustand erreicht ist.

Andere Beobachtungen dieser Art betreffen die sog. haploiden Blütenpflanzen. Wir kennen seit 2 Jahrzehnten in immer zahlreicheren Fällen von Blütenpflanzen haploide Individuen, während normalerweise die Blütenpflanzen Diplonten sind. Man kultiviert sie neben den diploiden Formen in den Experimentalkulturen. Sie zeigen normale Organbildung, normale Differenzierung in Stamm, Blatt und Wurzel, in Sproß und Blüte. Diese Pflanzen sind zwar in allen Teilen entsprechend der nach der Kernplasmarelation verringerten Zellgröße kleiner, zeigen aber keinerlei Hemmnis, die normale Sporophytengestaltung durchzuführen. Es kann nach den Erfahrungen in unseren Kul-

turen sein, daß diese haploiden Individuen am natürlichen Standort sich empfindlicher zeigen und in der Konkurrenz den diploiden gegenüber unterlegen sind. Solche Erfahrungen größerer Empfindlichkeit wurden auch bei der Aufzucht haploider Individuen der normal diploiden Echinodermen oder Amphibien bei Tieren gemacht. Bei diesen Vergleichen muß aber immer im Auge behalten werden, daß es sich um sekundär im Experiment wiederhergestellte Haplonten handelt. Nachdem bei vielen Organbildungen die Abstimmung von Zellenzahl und Zellengröße eine Rolle spielt, ist es durchaus möglich, daß diese größere Empfindlichkeit der Haploiden durch Störungen in diesen Zahlen- und Größenverhältnissen ihre Ursache hat und nichts mit der Genomzahl an und für sich zu tun hat. Davon, daß die haploide Zelle allgemein zur Gestaltung höherer Organisation nicht oder nicht so gut fähig wäre, kann jedenfalls nach unseren bisherigen Erfahrungen nicht die Rede sein.

Das einzige, was solche haploiden Typen normal diploider Organismen nicht durchführen können, ist die Reduktionsteilung. Der ordnungsgemäße Ablauf ist hier an das Vorhandensein von 2 Genomen gebunden. Doch ist dies unabhängig von der Ausgestaltung der sonstigen Organbildung. Es besteht in dieser Hinsicht für die richtigen Haplonten auch kein Hindernis, indem durch die Befruchtung in der Zygote der diploide Zustand hergestellt wird und dann die Reduktionsteilung ablaufen kann. Komplizierteste Organgestaltung in der haploiden Phase und normale Befruchtung und Reduktionsteilung wären also durchaus zusammen denkbar. *Alle diese Beobachtungen und Überlegungen sprechen nicht dafür, daß der größere Selektionswert des diploiden Zustandes in irgendwelchen günstigen allgemeinen Eigenschaften oder Leistungen der diploiden somatischen Zelle gesucht werden kann.*

Durch die Befruchtung, die Kernverschmelzung und Reduktionsteilung ist für den Organismus die Möglichkeit gegeben, bei Genomen mit verschiedenartigem Genbestand alle Genkombinationen zu bilden, die nach den Verteilungsgesetzmäßigkeiten zu erwarten sind. Dadurch entstehen immer wieder neue Kombinationsmöglichkeiten der Eigenschaften und ein vielgestaltiges Material, das der Selektion unterworfen wird. SVEDELIUS [Ber. dtsch. bot. Ges. **39** (1921)] hat darauf hingewiesen, daß die gegenseitige Lage von Verschmelzung und Reduktionsteilung dafür sehr wesentlich ist, ob alle theoretisch zu erwartenden Kombinationen auch wirklich gebildet werden. Bei einem Haplonten folgt auf eine Verschmelzung in der Zygote eine Reduktionsteilung. Nachdem aus jeder Reduktionsteilung nur 2 oder 4 verschiedene Kombinationen hervorgehen, können bei mehrfacher Heterozygotie immer nur höchstens 4 von den zu erwartenden Kombinationen realisiert werden. Bei den Haplodiplonten oder Diplonten folgt dagegen auf eine Verschmelzung eine mehr oder weniger große Diplophase und dann erst eine größere, oft sehr große Anzahl von Reduktionsteilungen. Eine einzige Verschmelzung kann somit ganz anders ausgewertet werden. Es werden von den theoretisch zu erwartenden Kombinationen sehr viele auch tatsächlich entstehen können. Solange bei einem Haplonten zahlreiche Gameten und Zygoten gebildet werden, spielt dies keine Rolle, da in diesem Falle vielen gleichartigen Verschmelzungen auch viele Reduktionsteilungen zugeordnet sind. Wenn aber die Befruchtungsschwierigkeiten größer werden und die Anzahl der Verschmelzungen sinkt, muß gleichzeitig der Selektionswert einer eingeschobenen Diplophase steigen. Die Haplophase kann sogar immer mehr eingeschränkt werden, sie wird mit Ausnahme der haploiden Gameten überflüssig. Diese haploiden Gameten werden dann direkt an dem Diplonten gebildet. Ein solcher Diplont kann somit zahlreiche verschiedene Gameten entstehen lassen, während der Haplont immer nur über einerlei Gameten verfügt. Diese Verhältnisse werden mit einer Einschränkung der Befruchtungsmöglichkeiten zu einer Selektion des Diplontenzustandes und zu einer Reduktion der haploiden Phasen führen. Nachdem aber die dauernde Umkombination des Gen-Materiales auch eine Grundlage immer neuer Mannigfaltigkeit, immer neuer Komplizierungen ist, wäre es nach SVEDELIUS verständlich, wenn mit dieser Selektion des Diplontenzustandes auch eine Förderung gerade der komplizierten Organbildung eintritt.

Die Ableitung von SVEDELIUS ist einleuchtend, aber sie enthält auch noch einige Schwierigkeiten. Der positive Selektionswert der Diplophase muß hervortreten, wenn die Befruchtungsmöglichkeiten wesentlich herabgesetzt sind. Doch gibt es zahlreiche Haplonten, wo die Befruchtungsmöglichkeiten durchaus ausreichend sind, wo oft gleichsam epidemieähnlich Befruchtungswellen durch einen ganzen Thallus gehen und daher sehr viele Zygoten und Reduktionsleitungen gebildet werden. Nach den Vorstellungen von SVEDELIUS bleiben in diesen Fällen eben die Haplonten als reine Haplonten oder als Diplohaplonten auch erhalten. In allen diesen Fällen ist aber auch die Grundlage für komplizierte Organgestaltung durch Bereitstellung immer neuer Eigenschaftskombinationen gegeben. Es ist also nicht einzusehen, warum dann nicht auch Haplonten mit kompliziertester Organbildung auftreten könnten, was tatsächlich nicht der Fall ist.

Ich glaube, man kann diesen Schwierigkeiten von Überlegungen der allgemeinen Evolutionsproblematik aus beikommen. Bei den Betrachtungen über die Ursachen der Evolution ist heute die schwierigste, vielleicht die allein wirklich schwierig zu beantwortende Frage die *nach der Entstehung und Abänderung polygen bedingter, zweckmäßiger, also selektionsfähiger Eigenschaften, Organe und Leistungen.* Wenn wir dies auf Grund der Mutationsvorstellung erklären wollen, müssen

zahlreiche Mutationsschritte angenommen werden, von denen jeder einzelne keinen positiven, meistens sogar einen negativen Selektionswert besitzt, die aber nach den zahlreichen Schritten wieder zu einem neuen zweckmäßigen Zusammenwirken kommen müssen. Erst dieses neue Zusammenwirken ist wieder positiv selektionsfähig. Alle Zwischenkombinationen werden nicht oder negativ erfaßt. Wie wird aber die sicher oft sehr lange Zwischenzeit überbrückt? Dieses Problem ist wohl das wichtigste in der allgemeinen Mutationstheorie. Es ist von besonderer Bedeutung, weil nach unseren experimentellen Befunden wohl mehr oder weniger alle wesentlichen Umbildungen gerade zur größeren Kompliziertheit der Organbildung polygene Veränderungen darstellen. Daher ist das Problem der Entstehung von Diplonten mit extremer Organdifferenzierung auch das Problem der Entstehung polygen bedingter, zweckmäßiger Organisation.

Als eine der brauchbarsten derzeitigen Lösungsversuche kann die Annahme des *Anreicherns von rezessiven Genen*, des *Rezessiven-Anstauens*, betrachtet werden. Rezessive Mutanten bleiben durch ihr dominantes Allel phänotypisch verdeckt und vor negativer Selektion geschützt. Es können daher in einem Organismus rezessive Mutanten in sehr großer Zahl angereichert werden, auch wenn sie im homozygoten Zustand herausspaltend nicht lebensfähig sind. Es müssen aber auch immer wieder alle Kombinationen dieser allmählich angereicherten Rezessiven so lange herausspalten, bis einmal eine neue, wieder zweckmäßige und positiv selektionsfähige Kombination eintritt. Diese Vorstellung erscheint heute als der beste Weg, der diese Schwierigkeiten überbrücken kann. Er hat aber zur Voraussetzung, daß ein *diploider* Zustand vorliegt. Nur dieser Zustand bietet die Möglichkeit des Rezessiven-Anstauens. Nur hier ist das schützende dominante Allel vorhanden. Im haploiden Zustand müssen sich alle Mutationen mit Ausnahme von epistatischer Verdeckung durch andere Gene sofort geltend machen, und alles Ungünstige muß sofort verschwinden. Ein komplizierter neuer genetischer Zusammenbau zu polygenzweckmäßiger Organisation ist also nur in der diploiden Phase möglich. Das bietet ein volles Verständnis für die Selektion des diploiden Zustandes *und* kompliziert zweckmäßiger Organgestaltung.

Wenn man von diesem Gesichtspunkt aus die verschiedenen Gruppen des Pflanzenreiches mit ihren Haplonten, Haplodiplonten und Diplonten durchmustert, gewinnt man den Eindruck, daß natürlich unter den Haplonten eine ganz große Mannigfaltigkeit herrscht, aber doch nur in seltenen Fällen Organbildungen auftreten, deren Zustandekommen auf Grund der einfachen Selektionsvorstellung mit Mutanten und ihren Kombinationen Schwierigkeiten bereitet. Die Abwandlungen der haploiden Grünalgen, Braunalgen und Rotalgen, der einfachen Pilzformen, Laub- und Lebermoose bieten diesen Eindruck. Eine Spitzenleistung dieser haploiden Organisation ist die der thallösen Lebermoose. Aber selbst die komplizierteren Bildungen bei ihnen, wie die Atemöffnungen von *Marchantia*, ihre Luftkammern und Gametangienträger sind doch relativ einfach gebaut gegenüber den Spaltöffnungen und anderen Organisationen des diploiden Zustandes. Die zahlreichen Mutanten, die BURGEFF (Genetische Studien an *Marchantia*, Jena 1943) in jüngster Zeit gerade an *Marchantia* beschrieben hat, zeigen, wieviel durch Mutation hier abzuändern ist, ohne die allgemeine Entwicklungsfähigkeit wesentlich zu beschränken. Wir wollen nicht übertreiben, auch an den reinen Haplonten gibt es genug an Organisationen, deren Evolution uns schwer erklärbar ist. Doch der Unterschied gegenüber der Organbildung an den Diplonten ist deutlich genug.

Nur auf wenige Beispiele braucht hier verwiesen zu werden. Ein in allen Einzelheiten durchkonstruiertes Organ des Diplonten ist die Spaltöffnung der höheren Pflanzen. Selbstverständlich ist ihr Aufbau polygen bedingt. Die Einzelheiten der Zellgröße und Zellgestalt, der Membranverdickungen und Gelenke, der osmotischen Verhältnisse und Chloroplastenapparatur sind genau abgestimmt. Jede einzelne Änderung zerstört das Zusammenspiel, und es ist ein weiter Weg, bis nach vielen Mutationsschritten ein neu geregeltes Zusammenspiel entsteht. Nur in einem Diplonten durch Anreichern von Rezessiven erscheint er uns derzeit möglich, und auch nur im Diplonten von *Anthoceros* und der Laubmooskapsel bis zu den höchsten Blütenpflanzen finden wir dieses Organ. — Der Bestäubungsmechanismus einer *Salvia*-Blüte kann nur funktionieren, wenn die Gestaltung der Blüte, die Länge der Konnektiv-Fortsätze, ihre Biegung, die Länge des Antherenstieles, seine Insertion an der Kronröhre, die Größe und Stellung der Klemmplatte und manches andere zusammenstimmen. Es ist ein schönes Beispiel polygenbedingter, zweckmäßiger Organisation der diploiden Blütenpflanzen. — Die Fangeinrichtung der karnivoren Blütenpflanze *Dionaea* baut darauf auf, daß die Gestalt der Klappen, ihre Borsten, die Berührungsempfindlichkeit und die Reizleitung, der Klappmechanismus selbst und die entwickelten Druckkräfte, der Verdauungsapparat mit Drüsen, Enzymproduktion und Stoffaufnahme zusammenstimmen. Wir bezweifeln keinen Augenblick die polygene Bedingtheit dieses Paradebeispiels zweckmäßiger Organisation und höchster Differenzierung des diploiden Pflanzenkörpers. — Die Beispiele sind vom Botaniker aus dem Pflanzenreich genommen. Wieviel komplizierter liegen die Verhältnisse noch bei den Tieren. Schon die einfachste Nesselkapsel der Coelenteraten ist ein schönes Gegenbeispiel zum Spaltöffnungsapparat der Pflanzen. Aber auch alle diese Komplizierungen finden wir nur am diploiden Tierkörper.

Wir finden nun bei Pflanzen oft noch eine Steigerung der Genomzahlen zu polyploiden Formen. Ja es herrscht vor allem bei Blütenpflanzen durchaus die Tendenz, in vielen Gruppen polyploide Typen zu entwickeln. Der positive Selektionswert der Polyploiden vor allem in Extremklimaten ist nach den Feststellungen von HAGERUP und TISCHLER, daß die Floren von Extremklimaten einen höheren Prozentsatz an Polyploiden aufweisen, ein viel erörtertes Problem. Ist auch dies in derselben Richtung wie bei den Diploiden aufzufassen? Für den Rezessiven-Schutz bieten die polyploiden Typen keine Steigerung. Er ist an den Diplonten optimal gegeben. Denn zu dem Rezessiven-Schutz kommt bei ihnen auch die bestmögliche Grundlage des jeweiligen Herausspaltens neuer Kombinationen in den günstigsten Zahlenverhältnissen hinzu. Die Polyploiden leisten im Rezessiven-Schutz nicht mehr, sind aber im Nachteil mit viel ungünstigeren Zahlenverhältnissen des Spaltens.

Für die Polyploiden finden sich aber in den Allelenverhältnissen günstige Voraussetzungen für neue Selektionswerte. In den zahlreicheren Lagestellen für allele Gene ist Platz für mehrere allele Mutanten. Sie bilden die Grundlage für eine größere Mannigfaltigkeit der Genwirkung nach bestimmt abgestuften Mengenverhältnissen. Sie bieten aber vor allem die Möglichkeit, daß im Verlauf der mutativen Umbildung aus vier gleichen Allelen je zwei neue Allelenpaare werden, deren Entwicklung in verschiedener Richtung gehen kann. Gerade bei Genen mit polyphäner Wirkung können so Gene umgebildet werden, von denen eines die eine, das andere die andere Wirkung in extremer Ausbildung übernimmt. Der Erfolg kann hier ein ähnlicher sein, wie dies als Folge von Genduplikationen im einfachen Genom erwartet wird. Der Genbestand wird reicher und das Zusammenwirken reichhaltiger. Darin mag der positive Selektionswert der Polyploiden gerade für Extremklimate gesehen werden. Daß auf die Verhältnisse bei den Polyploiden nicht einfach die hier entwickelten Vorstellungen über Diplontenentstehung übertragen werden dürfen, zeigt schon die Tatsache, daß die Herausbildung von Polyploiden gerade im Tierreich nur ganz selten beobachtet wird.

Die Möglichkeit des Anreicherns rezessiver Gene im diploiden Zustand bietet bei Pflanzen und Tieren für den hohen Selektionswert der Diploidie eine einleuchtende Erklärung, auch gleichzeitig dafür, daß offensichtlich die kompliziertere Organbildung an die Diploidie gebunden ist. Und die Tatsache, daß die Vorstellung des Rezessiven-Anstauens sich für eine so wichtige Frage der Evolution fruchtbar erweist, spricht nun ihrerseits dafür, daß diese Vorstellung in der allgemeinen Mutationstheorie tatsächlich den wichtigen Baustein darstellt, den wir in ihr sehen möchten.

Über ein allgemeines Reiz-Reizantwort-Gesetz in der Biologie[1]).

Von B. DE RUDDER, Frankfurt/Main.

Reize oder Schäden treffen unter gewissen natürlichen oder experimentellen Bedingungen eine Gesamtbevölkerung oder einen definierten Ausschnitt einer solchen, eine Population in statistischem Sinne. *Die auf eine bestimmte Reizstärke erfolgende Reizantwort wird dann quantitativ bestimmt durch die zahlenmäßige Verteilung reizansprechfähiger Individuen.* Als solche Reizantworten können alle an lebenden Organismen auf Reizeinwirkung zu beobachtenden Veränderungen aufgefaßt werden. In diesem Sinne kann auch das statistische Phänomen eines Erkrankens oder Sterbens in einer Population betrachtet werden als Reizantwort auf einen Reiz bestimmter Stärke, welcher die Population in der Form eines Schadens, eines umstimmenden, dispositionsändernden oder sonstwie krankmachenden Faktors, einer irgendwie gearteten Belastung oder Aggression traf. Gewisse Probleme der Krankheitsstatistik lassen sich somit unter Gesichtspunkten einer „*Reizantwort-Physiologie von Populationen*" behandeln und können umgekehrt Aufschlüsse über Gesetzmäßigkeiten in derselben liefern.

Alle biologischen Leistungen von Organismen nach Art einer Krankheitsabwehr, einer Disposition, einer Resistenz u. dgl. stellen *komplexe Lebensleistungen* dar, d. h. sie hängen stets von einer *Vielzahl von Einzelfaktoren* ab, die sich nach Gesetzen der Kombinatorik über die Einzelindividuen der Population verteilen. Demzufolge müssen alle biologischen Leistungen der genannten Art im Grade ihrer Ausprägung die bekannte *binomiale Verteilung* aufweisen; die Zahl der auf einen Reiz bestimmter Größe ansprechfähigen Individuen muß durch diese Verteilung also bestimmt werden. Und da die Zahl der wirksamen Faktoren jedenfalls *sehr* groß ist, kann die zugehörige binomiale Verteilung ohne nennenswerten Fehler durch eine GAUSS*sche Verteilung* dargestellt werden, wie sie beim Übergang von einer sehr großen endlichen Faktorenzahl zu unendlicher Faktorenzahl entsteht.

Daß gelegentlich asymmetrische Verteilungen auftreten können, mag erwähnt sein. Sie ändern am prinzipiellen Sachverhalt nichts Wesentliches, sondern verlangen nur sinngemäße Anpassung der hier dargelegten Zusammenhänge.

Diese Annahme erscheint zunächst nur wie eine *Übertragung von Erfahrungen aus der Morphologie auf Funktionelles.*

Seit den klassischen biometrischen Untersuchungen GALTONs wissen wir, daß die große Mehrzahl morpho-

[1]) Nach einem auf Einladung der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft am 5. April 1943 im Rahmen der „Dahlemer Abende" im Harnack-Haus gehaltenen Vortrag.

logischer Maße von Zellen, Organen, Körperteilen und Körpern dieser Verteilung gehorchen. Sie ist auf *diesen* Gebieten hundertfältig empirisch bewiesen und längst in die Beurteilungsweise solcher Maße als selbstverständliche Voraussetzung eingegangen.

Hinsichtlich der *Einzelheiten des Zustandekommens dieses* immer wiederkehrenden *Verteilungstyps* bei Wirksamkeit vieler Faktoren kann ich auf die gebräuchlichen Darstellungen zur Biometrik, Variationsstatistik, Erblehre u. ä. verweisen, wo diese Grundbegriffe vielfach erörtert sind.

Die Vorstellung von der binomialen Verteilung aller komplexen Lebensleistung ist aber nicht nur Extrapolation von der Form auf die Leistung, sondern sie hat sich auch *unmittelbar experimentell* ergeben.

Meines Wissens hat KISSKALT 1915 erstmalig bei Bestimmung der *„Giftdisposition"* im Tierkollektiv auf diese Verhältnisse hingewiesen. In den grundlegenden Arbeiten PRIGGEs über die *Immunisierbarkeit von Tierkollektiven* fand die Vorstellung erneute Bestätigung. Sie führte hier zur Ausarbeitung völlig neuer, heute allgemein geübter Verfahren bei der Impfstoffprüfung. Durch Reduktion der variierenden, die Immunisierbarkeit beeinflussenden Faktoren in Inzuchtstämmen konnte PRIGGE dann unmittelbar das Ausmaß der „Streuung" der bei der Immunisierung zutage tretenden Leistung vermindern. Es war damit indirekt die Richtigkeit unserer theoretischen Interpretation vom Zustandekommen dieses Verteilungstyps erneut erhärtet.

Die Leistungsfähigkeit der allgemeinbiologischen Vorstellung von der binomialen Verteilung aller organischen Funktionen bewährte sich neuestens auf mehreren Gebieten. Eine Anzahl *empirischer biologischer Gesetzmäßigkeiten*, die bisher unverständlich waren und ganz verschiedenen Beobachtungskreisen entstammten, konnte durch Anwendung der genannten Vorstellung bis in Einzelheiten verständlich gemacht werden.

Im Erkranken und Sterben des männlichen und weiblichen Geschlechtes hatten sich beim Menschen — zum Teil seit Jahrzehnten bekannt — eigenartige *konstante Unterschiede* ergeben, die zur Aufstellung bestimmter Regeln geführt hatten. v. PFAUNDLER konnte diese selbst bis in quantitative Verhältnisse ableiten aus der Annahme einer binomialen Verteilung solcher allgemeiner Lebensleistungen vom Typus der „Krankheitsabwehr" und der Annahme, daß die für jedes der beiden Geschlechter geltenden GAUSSschen Verteilungskurven um ein weniges gegeneinander verschoben sind.

Eine weitere, spezielle Bewährung der bisher geschilderten Vorstellungen soll hier eingehender behandelt werden, da sie, wie ich glaube, wertvolle Einblicke in allgemeine Gesetzmäßigkeiten einer obengenannten Reizantwort-Physiologie liefert.

Allgemeine Theorie jahreszeitlicher Krankheitswellen der Grundform Φ [sin x].

Bekanntlich zeigen zahlreiche Krankheiten — infektiöse und nichtinfektiöse — eine Jahr für Jahr sich wiederholende wellenförmige Häufigkeitsschwankung. Wir nennen sie *Saisonkrankheiten*. Stellt man diese Schwankung in der üblichen Weise graphisch dar, indem man die in gleichen Zeitabschnitten gezählten Fälle fortlaufend in ein Koordinatensystem einträgt, und superponiert man eine größere Anzahl von Jahren zu einem „Summenjahr", um „Zufälle" und Singularitäten des Einzeljahres zu eliminieren, so ergibt sich also für jede dieser Krankheiten eine *Welle*. Diese kann nach Zeitpunkt und nach Höhe des Wellenganges schwanken; *sie zeigt jedoch bei rechnerischer oder graphischer Analyse eine anscheinend allen Krankheiten gemeinsame Form:* sie läßt sich stets mit großer Annäherung durch eine *Welle der Form*

$$e^{\sin x}$$

darstellen (Fig. 1)[1]). (Es bedeutet nur eine andere mathematische Ausdrucksweise, wenn man diese gesetzmäßige Beziehung invers ausdrückt: die Logarithmen der genannten Krankheits- bzw. Sterbezahlen in einem Summenjahre folgen mit großer Annäherung einer Sinuswelle.)

Diese Beziehung in inverser Ausdrucksweise wurde rein empirisch ohne weitere Begründung für Todesfälle an Krankheiten der Kreislauf- und Atmungsorgane von KOLLER,

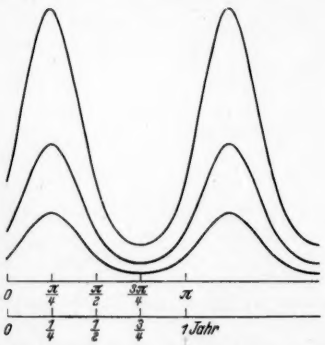


Fig. 1. Wellen der Form $y = e^{\sin x}$ verschiedener Amplitude (dargestellt 1, 2, 4mal $e^{\sin x}$), welche jahreszeitliche Krankheitswellen mit großer Näherung darstellen. Zu beachten die gegenüber den spitzen Maximas stumpfen Minimas.

für viele meldepflichtige akute Infektionskrankheiten völlig unabhängig davon von ZIEZOLD rechnerisch nachgewiesen. Auch verschiedene andere Krankheiten, für die hinreichend großes statistisches Material erhältlich, zeigen die gleiche Erscheinung (DE RUDDER).

Zur raschen Orientierung hat sich mir folgende sehr einfache *graphische Methode* bewährt: man konstruiert sich — in Analogie zu dem käuflichen und in der Technik sowie Immunbiologie verwendeten „Wahrscheinlichkeitspapier" — eine Art „Sinuspapier", dessen Abszissenabstände so gewählt werden, daß die auf ihnen erfolgende Eintragung von Sinusordinaten eine Gerade liefert. Teilt man nun noch die Ordinatenachse eines derartigen Koordinatensystems logarithmisch, so liegen die auf diesem *„logarithmischen Sinuspapier"* fortlaufend eingetragenen Krankheits- (Sterbe-) Ziffern annähernd auf einer Geraden, sofern sie der genannten Gesetzmäßigkeit gehorchen.

[1]) e Basis der natürlichen Logarithmen 2,718... Ihre Wahl an Stelle einer beliebigen Basis erfolgte in formaler Anlehnung an ZIEZOLD.

Naturgemäß drängt sich die *Frage nach dem Zustandekommen dieser eigenartigen Gesetzmäßigkeit* auf.

Nur ZIEZOLD hat bisher für die von ihm ausschließlich bearbeiteten Infektionskrankheiten eine Erklärung versucht. Sie geht von der Vorstellung aus, daß ein Krankheitsfall weitere Fälle zur Folge hat, wie es bei kontagiösen Krankheiten denkbar wäre, daß also die Zahl e hier auftritt wie bei allen Funktionen mit Wachstum vom Typ der Zinseszinsrechnung. Damit wurde das *Problem der kausalen Genese dieser Krankheitswellenform* erstmalig

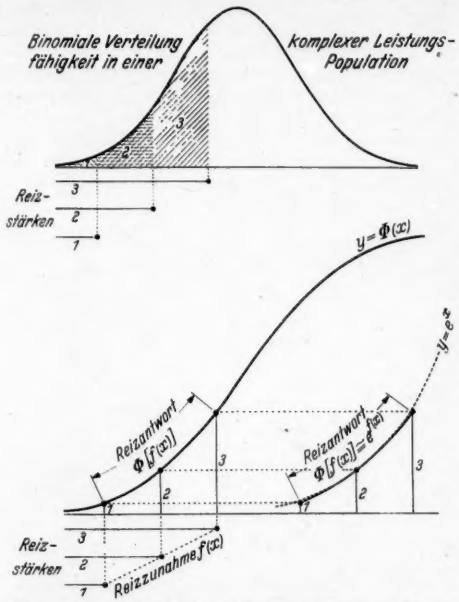


Fig. 2. *Oberer Teil:* GAUSSsche Glockenkurve, welche die binomiale Verteilung einer komplexen Leistungsfähigkeit (Krankheitsabwehr) auf die Individuen einer Population darstellt. Auf Reize verschiedener Stärke (Abszissen) reagieren die durch die zugehörigen Flächen ausgedrückten Zahlen von Individuen. Diese Zahlen sind im *unteren Teil* der Fig. als Strecken, d. h. als Ordinaten eines GAUSSschen Wahrscheinlichkeitsintegrals $y = \Phi(x)$ dargestellt, welches bekanntlich Flächenänderungen der GAUSSschen Verteilung wiedergibt. Auf Reizänderung nach einer Funktion $y = f(x)$ erfolgen Reizantwortänderungen von der Form $y = \Phi[f(x)]$. Das für unser spezielles Problem heranzuziehende Kurvenstück der Integralkurve läßt sich dann *näherungsweise* durch ein Stück der Funktion $y = e^x$ darstellen. Reizänderungen der Form $f(x)$ bedingen also in diesem Bereich angenähert Reizantwortänderungen von der Form $e^{f(x)}$. Alle (additiven und multiplikativen) Konstanten sind einfachheitshalber in den Funktionsbezeichnungen (auch auf den folgenden Figuren) weggelassen.

aufgeworfen. Da aber die genannte Gesetzmäßigkeit auch für nichtinfektiöse Krankheiten in gleicher Weise gilt, erweist sich diese Annahme als unzureichend zur Erklärung der empirischen Tatsachen. *Es müssen andere Vorgänge entscheidend sein.*

Tritt innerhalb einer Bevölkerung eine regelmäßige Häufigkeitsänderung einer Krankheit im Jahreslaufe ein, so läßt sich jedenfalls ganz allgemein sagen, daß eine mit den Jahreszeiten veränderliche Krankheitsursache, ein jahreszeitlich veränderlicher Schaden oder Reiz hier zur Auswirkung kommt.

Auf Grund der eingangs als gut fundiert erläuterten Vorstellung wäre somit zu ermitteln, *wie eine Bevölkerung mit binomialer Verteilung ihrer Krankheitsabwehr auf eine veränderliche Schadensgröße antwortet.*

Denkt man sich — in unmittelbarer Analogie zu den von PFAUNDLER angewandten Vorstellungen — die Schadensgröße auf der Abszissenachse einer GAUSSschen Verteilung größenmäßig aufgetragen, und zwar so, daß ihre Wirkung bei resistenzlosesten Individuen beginnt, so müssen sich die Zahlen der reagierenden Individuen verhalten wie die durch die wechselnden Abszissen abgeschnittenen Flächenstücke der Gesamtkurve (Fig. 2 oberer Teil).

Flächenstücke einer GAUSSschen Verteilung werden aber gemessen als *Ordinaten des zugehörigen* GAUSS*schen Integrals* $y = \Phi(x)$. Ändern sich die Abszissen eines GAUSSschen Integrals proportional den Schadensgrößen (Reizen), so stellen die jeweils zugehörigen Ordinaten die Größen der Reizantworten dar. Daraus läßt sich ein *allgemeinstes Reiz-Reizantwort-Gesetz für Populationen* formulieren: *Ändern sich die auf eine Population einwirkenden Reize zeitlich nach einer Funktion* $f(x)$, *so folgen die zugehörigen Reizantworten (Erkrankungsziffern) der Funktion* $\Phi[f(x)]$ (Fig. 2 unterer Teil). Oder in anderer Ausdrucksweise: *Die Reizantworten einer Population (die Zahlen der reagierenden Individuen) verhalten sich wie die Ordinaten eines* GAUSS*schen Integrals, deren zugehörige Abszissen sich proportional den Reizgrößen ändern.*

Spielen sich die Reizantworten *in Bereichen unter etwa 40%* der Gesamtbevölkerung ab, wie es in den hier speziell behandelten Bereichen praktisch durchweg der Fall ist, so läßt sich für diese allgemeine Reiz-Reizantwort-Beziehung eine Näherungsformulierung angeben, durch die wir uns ohne weiteres mit der einleitend angegebenen Problemstellung begegnen. Das in diesen Fällen in der Praxis zur Verwendung kommende Kurvenstück des GAUSSschen Integrals läßt sich nämlich stets mit großer Näherung durch eine Exponentialfunktion von e von der allgemeinen Form $R \cdot e^x$ ausdrücken (wo R eine nach Lage des Falles wechselnde Konstante darstellt). Für diesen *praktischen Teilbereich* gilt dann

$$\Phi[f(x)] \cong R \cdot e^{f(x)},$$

wie in Fig. 2 dargestellt.

Diese allgemeine Formulierung ist mancher weiterer Anwendung fähig, auf die hier nicht im einzelnen eingegangen werden soll. Man mag sich hier übrigens erinnern, daß *auch die GAUSSsche Verteilung eine e-Funktion* darstellt, bei der die Variable x ebenfalls *im Exponenten* auftritt.

In dieser allgemeinsten Formulierung liegt der *Schlüssel zur Aufklärung* der bisher ungeklärten *Form jahreszeitlicher Krankheitsgipfel*, sicherlich aber auch *zu manchen weiteren statistischen Problemen der Biologie, da ja die bisher behandelten allgemeinen Gesetzmäßigkeiten im Prinzip allen Lebewesen gemeinsam sind.*

Wir haben durch die obige Formulierung bereits die allgemeine Form der in jahreszeitlichen Krankheitswellen auftretenden, empirisch gefundenen Beziehung. Wir brauchen zu diesem Zwecke nur $f(x)$ durch $\sin x$ zu ersetzen. Wir gelangen dann zu jahreszeitlichen Krankheitswellen der Form

$$\Phi\,[\sin x]$$

d. h. zu Wellen, die aus den fortlaufenden Ordinaten eines GAUSSschen Integrals entstehen, deren

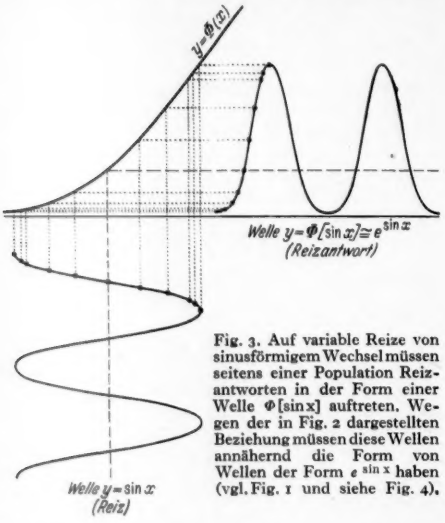


Fig. 3. Auf variable Reize von sinusförmigem Wechsel müssen seitens einer Population Reizantworten in der Form einer Welle $\Phi[\sin x]$ auftreten. Wegen der in Fig. 2 dargestellten Beziehung müssen diese Wellen annähernd die Form von Wellen der Form $e^{\sin x}$ haben (vgl. Fig. 1 und siehe Fig. 4).

Abszissen sich sinusförmig ändern (Fig. 3). Diese müssen mit großer Näherung durch Wellen $e^{\sin x}$, wie sie die Empirie ergibt, darstellbar sein. Das ist tatsächlich der Fall (Fig. 4).

Das *Auftreten einer Sinusfunktion in der Gesamtformulierung* der jahreszeitlichen Krankheitswellen ist aber *ohne weiteres verständlich*. Gleichgültig welcher Art der entscheidende „biotrope Saisonfaktor" ist, der beim Menschen im einzelnen zum Erkranken führt — gleichgültig selbst, ob er dispositionsändernder oder unmittelbar schädigender Art ist —, er muß irgendwie an jenes Geschehen gekoppelt sein, das wir „Jahreszeit" nennen. Dieses nun hängt letzten Endes ab von der im Jahreslaufe veränderlichen Mittagshöhe der Sonne und damit von der *veränderlichen Sonnenscheindauer*. Letztere aber ändert sich im Durchschnittsjahr, d. h. im Mittel vieler Jahre, nämlich bei Elimination der Singularitäten einzelner Jahre *annähernd sinusförmig*. Tägliche Wärmeeinstrahlung, tägliche Lichtmenge, mittlere Tagestemperatur und all die vielen davon abhängigen meteorischen Geschehnisse sind wiederum eine Folge dieses Rhythmus; sie werden also die Intensität des jeweiligen meteorobiologischen Saisonfaktors sinusförmig steuern. Es trifft somit jene Bevölkerung, deren jahreszeitliches Erkranken oder Sterben wir gerade verfolgen, im Mittel ein sinusförmig veränderlicher Schaden (Reiz).

Deformierungen an dieser Sinuswelle werden sich im übrigen sinngemäß in die Wellen $\Phi[\sin x]$ bzw. ihre Ersatzformulierung $e^{\sin x}$ fortpflanzen. Aus solchen *Deformierungen der Krankheitswelle* wird man unter Berücksichtigung der hier dargelegten funktionalen Beziehung unter Umständen auf einen im Einzelfall wirksamen „biotropen Jahreszeitenfaktor" rückschließen können. Bei kontagiösen Krankheiten ist außerdem wohl ein gegenüber der Wellengrundform etwas beschleunig-

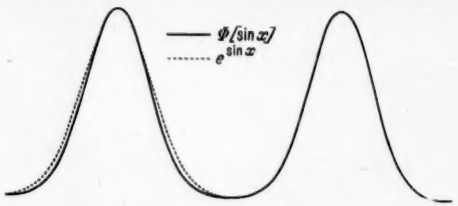


Fig. 4. Welle der Form $\Phi[\sin x]$ und Welle der Form $e^{\sin x}$ von gleicher Wellenlänge und gleicher Amplitude (berechnet). Durch geeignete Wahl einer in den Exponenten tretenden Konstanten wäre noch größere Annäherung beider Wellen ohne weiteres zu erzielen.

ter Anstieg und Abfall der Welle zu erwarten (Überlagerungswelle).

Ein *Sonderfall* tritt dann ein, wenn die *Schadenswelle nur zu bestimmten Zeiten des Jahres die Grenze überschreitet, an der überhaupt Individuen nennenswert erkranken*; dann treten nämlich isoliert stehende *Krankheits„spitzen"* auf, wie sie bei einer Anzahl fast saison*gebundener* Krankheiten bekannt sind (Fig. 5).

Es mag angefügt sein, daß jenes GAUSSsche Integral, welches sozusagen die Ansprechbarkeit einer Population ausdrückt, nicht nur für jede Saisonkrankheit und den sie auslösenden Schaden nach gewissen *Konstanten vom Charakter eines Parameters* wechselt, sondern daß diese Parameter auch nach Geschlecht, Rasse, geographischer Zone, ja selbst nach der Zeit verschieden sein müssen. Diese zu erwartenden Geschlechtsunterschiede der Krankheitsabwehr bzw. Reizansprechbarkeit wurden durch v. PFAUNDLER eingehender begründet, worauf hier nur verwiesen sei. Für rassische Differenzen sind naturgemäß völlig analoge Überlegungen naheliegend. Zeitliche Änderungen von Parametercharakter sind z. B. in den „*Umschalt-*

jahreszeiten" Frühling und Herbst mit ihrer erhöhten (besonders vegetativen) Reizansprechbarkeit zu erwarten (vgl. bei DE RUDDER) und führen dann zu einer phasenkonstanten *Formabweichung* der Morbiditätswelle.

Gewisse von KOLLER nachgewiesene *Geschlechts- und Rassenunterschiede im jahreszeitlichen Erkranken*, kleine Deformierungen der sich ergebenden Wellen „in der Zeit", endlich wohl auch manche geographische Besonderheiten u. ä. finden so eine zwanglose theoretische Aufklärung.

So führt die hier dargelegte allgemeinbiologisch fundierte Vorstellung zu einer Erklärung der mannigfaltigsten empirischen Erfahrungen und macht sie einem Verstehen prinzipiell zugänglich.

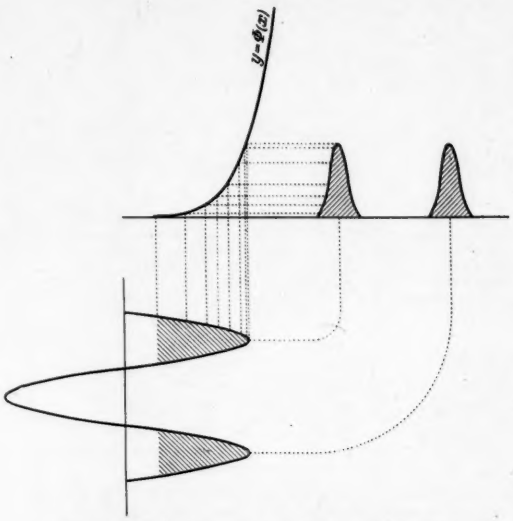


Fig. 5. Sonderfall: ein sinusförmig variabler Reiz überschreitet nur auf seinen Wellenbergen die Reizschwelle der reizempfänglichsten Individuen einer Population. Es treten „Spitzen" von Reizantworten auf.

Aber über diese sozusagen allgemeine Theorie der empirisch gefundenen jahreszeitlichen Krankheitswellen hinaus ist die dargelegte Beziehung sicherlich auf viele allgemeine biologische Probleme anwendbar, was hier nicht im einzelnen ausgeführt werden soll.

Reiz-Reizantwort-Gesetze für das Einzelindividuum (Webersches und Weber-Fechnersches Gesetz).

Unwillkürlich drängt sich einem bei der dargelegten Sachlage die Frage auf, ob das genannte Gesetz nicht auch *Gültigkeit für Reizbeantwortungen des Einzelindividuums besitze.*

Es könnte sich bei Reizeinwirkung sozusagen in der Mikrowelt des Organismus vollkommen das wiederholen, was wir in der Makrowelt von Organismenpopulationen unmittelbar beobachten und fallweise auszählen können. In der Natur vorkommende *Reize treffen im Organismus zumeist eine Vielzahl von Zellen und werden von einer Vielzahl von Zellen beantwortet. Zellbau und Zellleistung* werden aber ebenfalls stets von vielen Faktoren determiniert, müssen sich damit also ebenfalls *binomial über die einzelnen Zellen eines Organs oder einer sonstigen Zell-Leistungsgruppe verteilen.*

Man erinnere sich etwa der bekannten PRICE-JONESschen Kurven der Größe oder der osmotischen Resistenzbreite von „Erythrocyten-Populationen"; der verschiedenen Leistung der einzelnen Leukocyten im Phagocytoseversuch; der zwischen 32—73 schwankenden Chromosomenzahl menschlicher Somazellen und vieler ähnlicher Dinge.

Die Größe der Reizantwort des Gesamtorganismus oder seines reagierenden Teiles hängt aber doch von der Gesamtleistung seiner reizbeantwortenden Zellen ab, ob es sich um die Zellen eines Organs, eines Organsystems, einer sonstigen komplexen Zell-Leistungsgruppe handelt. Die *Gesamtleistung* jedes solchen Komplexes und damit *des Körpers* könnte also ganz *im Sinne der oben angegebenen Formulierung* erfolgen.

Über die hier aufgeworfene Frage einer Gültigkeit des allgemeinen Reiz-Reizantwort-Gesetzes für das Einzelindividuum kann nur weitere *empirische Forschung* entscheiden.

In erster Linie ist jedoch zu untersuchen, wie sich bisherige, am Einzelindividuum ermittelte Reiz-Reizantwort-Gesetze, nämlich das WEBERsche bzw. WEBER-FECHNERsche Gesetz, zu der hier vertretenen Arbeitshypothese verhalten.

Beim WEBERschen Gesetz handelt es sich um einen lediglich formelmäßigen Ausdruck für empirische Feststellungen über Empfindungsänderungen, welche auf Untersuchungen des Physiologen ERNST HEINRICH WEBER (1795—1878) zurückgehen. Bei der Prüfung der Unterschiedsschwelle des Tastsinnes und später auch anderer Sinne hatte sich ergeben, daß die Reizzunahme stets dem bereits vorhandenen Reiz annähernd proportional sein muß, um einen eben merklichen Empfindungszuwachs auszulösen. Bezeichnen wir mit r die Größe eines Reizes (z. B. Druck durch ein Gewicht, Lichtstärke usw.) und mit Δr den Reiz*zuwachs*, der *eben* einen wahrnehmbaren Empfindungs*zuwachs* Δy hervorruft, so gilt somit:

$$\Delta y = k \cdot \frac{\Delta r}{r},$$

wo k eine gewisse Konstante darstellt. Das ist der *Inhalt des WEBERschen Gesetzes* der Physiologie.

Das WEBERsche Gesetz enthält also über die Größe von Reizantworten, d. h. im Gebiete der Sinnesphysiologie über die Größe der Empfindungen überhaupt keine Aussagen, wohl aber über die Größe von Reizantwortzuwüchsen. Das kann nicht überraschen, denn die Größe einer Empfindung ist als lediglich *subjektives* Erlebnis nicht meßbar, somit kein der Physiologie zugängliches Objekt.

Es ist immer wieder betont worden, daß das WEBERsche Gesetz *nur für Bereiche „mittlerer" Reizgrößen gilt*, dadurch aber jedenfalls den Charakter eines Näherungsgesetzes verrät. Das ist beim Versuch, das WEBERsche Gesetz in unsere graphische Ausdrucksweise zu übersetzen, ohne Zweifel von Bedeutung; es verlangt, daß dieser

Darstellungsbereich die beiderseitigen Enden der Kurve von $\Phi(x)$ jedenfalls nicht einzubeziehen hat. Nehmen wir an, ein subjektiver, eben merklicher Empfindungszuwachs trete im Bereich mittelstarker Reizantworten stets und nur dann auf, wenn er (graphisch) einen bestimmten, stets *gleich* großen Reizantwort*zuwachs* darstellt, dann besteht keine Schwierigkeit, das WEBERsche Gesetz einzuordnen, wie Fig. 6 darstellen soll.

Man erkennt, daß das Gesetz dadurch seine Gültigkeit bekommen muß, daß die durch unmittelbare Empfindung nicht meßbaren Reizantworten mit wachsenden Reizgrößen annähernd einer Kurve von immer schwächer werdender Steigung folgen müssen; denn nur in einer solchen Kurve entsprechen gleiche Ordinatenzuwüchse zunehmend größeren Abszissenzuwüchsen. Das leitet ohne weiteres über zu der von GUSTAV THEODOR FECHNER (1801—1887) versuchten *Erweiterung des* WEBER*schen Gesetzes.*

Diese Erweiterung muß erkenntnistheoretisch vom ursprünglichen Gesetz wohl unterschieden werden[1]).

Schreibt man die soeben aufgestellte WEBERsche Relation in der Form einer Differentialgleichung, d. h. einer Beziehung zwischen den infinitesimal kleinen Zuwüchsen einer variablen und einer abhängigen Größe, also

$$dy = k\frac{dr}{r},$$

so ergibt sich durch Integration:

$$y = \int k \cdot \frac{dr}{r} = k \cdot \log r.$$

Danach würden sich also *die Empfindungen y wie die Logarithmen der sie auslösenden Reize* verhalten. In dieser Form ist das *„WEBER-FECHNERsche" Gesetz* heute ziemlich allgemein bekannt; es spielte zunächst eine bedeutende Rolle in der Psychophysik, wo eine fast unübersehbare Literatur darüber entstand; es ist aber zu beachten, daß in dieser erweiterten Form eben nicht mehr nur von (meßbaren) Reizzuwüchsen, sondern von der *Größe* von „Empfindungen", also subjektiven Erlebnissen, gesprochen wird.

Gegen diese verallgemeinerte Formulierung sind mancherlei verständliche Einwände erhoben worden. So betonte G. VON BUNGE u. a., daß es willkürlich sei, eben merkliche Empfindungszuwüchse überhaupt untereinander als „gleich" zu betrachten; es handle sich hier ja überhaupt nicht mehr um meßbare Größen, sondern eben um, wie erwähnt, subjektive Erlebnisse. Aber schon der Übergang von Δy zu dy, d. h. von der eben noch subjektiv erlebbaren kleinsten Empfindungs*differenz* zu einem „Empfindungs*differential*", ist anfechtbar (M. CZERNY). Reizdifferentiale sind ohne weiteres vorstellbar, da die Reize ja meßbare Größen sind; was aber soll man sich unter dem Differential einer Empfindung vorstellen? Im Falle einer Verallgemeinerung des Begriffes „Empfindung" etwa auf Reizantworten *meßbarer* Art könnte die Vorstellung eines Reizantwortdifferentials dann allerdings wieder einen konkreten Sinn erhalten. Solche meßbare Reizantworten würden beispielsweise bei der Immunisierung von Tieren vorliegen, bei der PRIGGE bereits von einem Erfülltsein des WEBER-FECHNERschen Gesetzes spricht.

[1]) Wertvolle Hinweise auf Einzelheiten zu dieser Formulierung verdanke ich meinem Kollegen Herrn Prof. Dr. M. CZERNY, Direktor des Physikalischen Instituts der Universität Frankfurt a. M., wofür ich auch an dieser Stelle meinen besten Dank zum Ausdruck bringen möchte.

Ganz abgesehen von solchen Überlegungen aber ist immer wieder betont worden, daß auch das WEBER-FECHNER*sche Gesetz nur innerhalb gewisser Grenzen von Reizstärken gilt;* werden diese nach oben oder unten verlassen, so ist keinerlei Beziehung der genannten Art mehr aufzufinden, es gelten dann *völlig andere* quantitative Verhältnisse zwischen Reizzuwachs und eben fühlbarem Empfindungszuwachs. Man mag ferner beachten, daß das WEBER-FECHNERsche Gesetz trotz seiner Formulierung vor

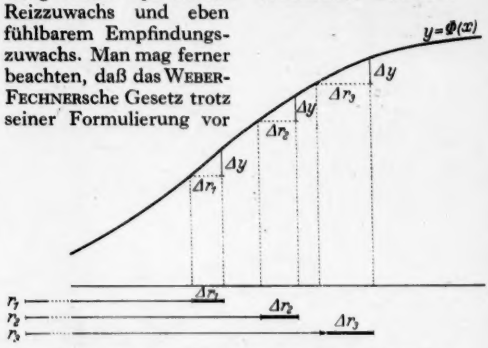


Fig. 6. Annähernder *Gültigkeitsbereich des* WEBERschen *Gesetzes* im Rahmen des allgemeinen Reiz-Reizantwort-Gesetzes. Wachsende Reizgrößen (r_1, r_2, r_3) müssen zunehmend größere Zuwüchse (Δr_1, Δr_2, Δr_3) aufweisen, um einen eben wahrnehmbaren Empfindungszuwachs (Reizantwortzuwachs) Δy konstanter Größe zu erzeugen. (Das WEBERsche Gesetz sagt *nichts* aus über die relativen Empfindungsgrößen, die daher als punktierte Ordinaten dargestellt sind.)

bereits über 80 Jahren *bisher keinerlei Erklärung aus anderen, allgemeineren Vorstellungen der Reiz- bzw. Zellphysiologie zugänglich* war, obwohl in dieser Zeit unsere diesbezüglichen Kenntnisse doch unermeßlich fortschritten. Das Gesetz behielt vielmehr seinen rein empirisch-beschreibenden Charakter. Man war vielfach geneigt, in ihm eine Art Grundgesetze des Reagierens von Organismen zu sehen und sich damit abzufinden.

Unter Berücksichtigung all dieser Umstände erscheint (vorerst wenigstens als Arbeitshypothese) die Annahme berechtigt, auch das WEBER-FECHNER*sche Gesetz lediglich als Näherungsformulierung für einen Teilbereich des obengenannten allgemeinen Reiz-Reizantwort-Gesetzes aufzufassen.*

Diese Vorstellung läßt sich am besten graphisch (s. Fig. 7) veranschaulichen: es gibt zu jeder Kurve des WEBER-FECHNERschen Gesetzes, also der allgemeinen Form $y = K \cdot \log x$, ein das eigentliche Reiz-Reizantwort-Gesetz darstellendes GAUSSsches Integral der allgemeinen Form $y = P \cdot \Phi(x)$ von der Art, daß auch hier wieder beide Kurven innerhalb gewisser Grenzen (in der Fig. 7 etwa zwischen den beiden schwarzen Pfeilen) mit für biologische Messungen hinreichender Genauigkeit übereinstimmen. Diese Grenzen würden dann annähernd mit den Gültigkeitsgrenzen des WEBER-FECHNERschen Gesetzes für den speziellen, gerade betrachteten empirischen Fall zusammenfallen. Die Abweichungen beider Kurven sind innerhalb des ge-

nannten Bereiches so gering, daß die für ihre Ordinaten sich ergebenden Unterschiede bei den an sich ja nur mit begrenzter Meßgenauigkeit verfolgbaren biologischen Vorgängen kaum in Erscheinung treten, jedenfalls bisher nicht in Erscheinung getreten sind. *Die logarithmische Kurve gibt sozusagen einen Näherungswert des Anstiegtempos der Reizantworten auf lineare Reizzunahmen „mittlerer" Reizstärken*, in deren Bereich auf Reizanstieg besonders deutlich unterscheidbare Reizantworten erfolgen müssen.

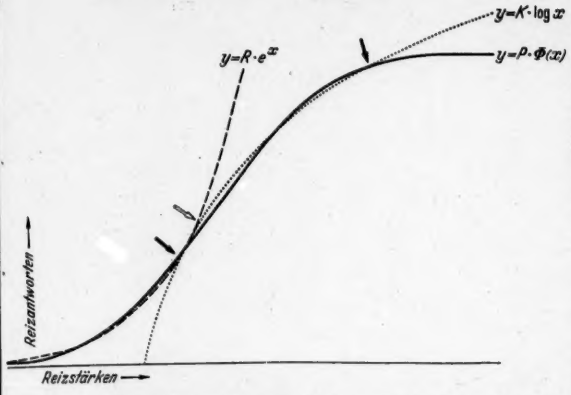


Fig. 7. Die ausgezogene Linie stellt die Werte für das GAUSS*sche Integral* $y = P \cdot \Phi(x)$ dar. Sie gibt in ihren Ordinaten die Größe der Reizantworten wieder, wenn sich die zugehörigen Abszissen den Reizstärken entsprechend ändern. Diese Funktion ist für den etwa *links* des offenen Pfeiles liegenden Anteil mit großer *Annäherung* ersetzbar durch den ersten Kurventeil der Funktion $y = R \cdot e^x$ (gestrichelte Linie). Hier liegt der *Bereich der jahreszeitlichen Wellen* von Krankheits- oder Sterbefällen innerhalb Populationen vom Näherungstypus $y = R \cdot e^{\sin x}$. Zwischen den beiden anderen Pfeilen, d. h. für *mittlere* Reizgrößen x, ist der Kurvenverlauf $\Phi(x)$ mit großer Näherung ersetzbar durch ein Kurvenstück der Funktion $y = K \cdot \log x$ (punktierte Linie). Dieser Teil entspricht dem Gültigkeitsbereich des WEBER-FECHNER*schen Gesetzes*, dem bisher diese Funktion zugrunde gelegt wurde. (P, R, K sind jeweils Konstanten; additive Konstanten sind nicht eigens aufgeführt.)

Der Faktor P stellt einen nach Geschlecht, Rasse, Art, „Versuchszeit" und Reizart wieder wechselnden Faktor vom Charakter eines Parameters dar, welcher unter den unendlich vielen Variationen des GAUSSschen Integrals das für den speziellen Fall Gültige auswählend festlegt. *Innerhalb einer Population werden sich auch diese Parameter wieder binomial über die einzelnen Individuen verteilen* und Versuchsergebnisse daher auch nach dieser Hinsicht statistischen Charakter erwarten lassen.

Unter dieser Annahme erscheint es also möglich, den Gültigkeitsbereich des in der Makrowelt von Organismenpopulationen so gut verfolgbaren und ableitbaren allgemeinen Reiz-Reizantwort-Gesetzes auch auf das Einzelindividuum, d. h. auf Zellpopulationen auszudehnen.

Für empirische Forschung, welche über die Berechtigung solcher Verallgemeinerung allein entscheiden kann, *interessieren* dann gerade die bisher weniger studierten *Bereiche außerhalb der Grenzen der Näherungsgültigkeit des* WEBER-FECHNER*schen Gesetzes*.

Für diese Teile ergeben einfache Überlegungen noch einige *Besonderheiten*, deren Beachtung von Wert sein dürfte. Die eben noch empfindbaren oder in anderer Weise nachweisbaren Zuwüchse der Reizantworten müssen jenseits der genannten Grenzen jedenfalls erheblich größere Reizzuwüchse zur Auslösung haben, als es dem bisherigen WEBER-FECHNERschen Gesetz entspricht. Im *Bereich der schwachen und schwächsten Reize* wird eine *meßbare* Reizantwort vermutlich noch nicht entstehen, wenn nur die in der binomialen Verteilung seltensten, allerempfindlichsten Sinneszellen (etwa der Netzhaut) oder Zellen der Immunkörperbildung (etwa im Retothelsystem) ansprechen. Es bleibt also jene *Reizschwelle* zu ermitteln, bei der überhaupt der erste meßbare Reizerfolg (Reizantwort) entsteht. Naturgemäß hängt die Größe dieser Schwelle ab von der Genauigkeit der uns für den betrachteten Vorgang verfügbaren Meßmethode oder der dabei herangezogenen Sinnesempfindlichkeit des Individuums. Im *Bereich der überstarken Reize* wird bald eine Grenze erreicht werden, wo praktisch sämtliche resonanzfähigen Zellen, auch die in der binomialen Verteilung unempfindlichsten, ansprechen; eine weitere Steigerung der Reize kann dann keine Reizantwortverstärkung mehr hervorrufen, es entsteht eine Art Zustand der Reizsättigung, wie er sinnesphysiologisch etwa im Stadium der Blendung, immunbiologisch bei höchster Aufpeitschung der spezifischen Immunkörperbildung erreicht wird. Ermittlungen dieser Art für den einzelnen empirischen Fall würden von Interesse sein, wobei — auch daran sei nochmals erinnert — der *Wert für diese obere Grenze* der Reizsättigung ebenso wie für die *untere Grenze* der eben meßbaren Reizschwelle selbst wiederum *binomiale Verteilung* innerhalb einer größeren Zahl von Individuen erwarten läßt.

Vielleicht gilt das hier formulierte Gesetz sogar noch an der *Einzelzelle*, die ja doch einen Wunderbau von (vielleicht molekularen) Leistungseinheiten darstellt mit vielleicht binomialer Verteilung feinster chemischer Strukturvarietäten (vgl. etwa die moderne Auffassung der Gene als Einzelmoleküle des Chromosoms).

Jedenfalls hat es den Anschein, daß das allgemeine Reiz-Reizantwort-Gesetz in vielfältiger Weise auch Gültigkeit für das Einzelindividuum besitzt und daß diese ganze hier angeregte Betrachtungsweise unseren Einblick in reizphysiologische Zusammenhänge und ihre Gesetzmäßigkeiten wesentlich zu vertiefen imstande ist.

Um Mißverständnisse zu vermeiden, sei hier betont, daß es für die weitere Forschung nicht etwa darauf ankommt, diese bei den verschiedensten Situationen wechselnden Einzelfunktionen oder ihre Parameter zu berechnen. Es handelt sich auch nicht etwa darum, einen wellenförmig ablaufenden Naturvorgang mathematisch zu beschreiben, was formal stets in mehrfacher Weise möglich ist. Es kommt in der ganzen Frage vielmehr darauf an, *ein inneres Verständnis für das „Warum", ein funktionales Denken für biologische Vorgänge und die Gesetzlichkeit ihres Ablaufes* anzubahnen und dadurch wieder zu weiteren biologischen Fragestellungen anzuregen. In diesem heuristischen Ziel sehe ich den eigentlichen Zweck der hier behandelten Gedankengänge, die für die Biologie das belegen

mögen, was HEISENBERG unlängst die „*gestaltende Kraft mathematischer Ordnung*" genannt hat.

Zusammenfassung: Sieht man das statistische Phänomen des Erkrankens und Sterbens innerhalb einer Population unter dem Gesichtspunkt einer Reizantwort auf zeitlich wechselnde Reizstärken und analysiert man die sich bisher dabei zeigenden mathematischen Gesetzmäßigkeiten, so gelangt man auf Grund der vielbewährten Vorstellung von der *binomialen Verteilung aller komplexen Lebensleistungen* zwangsläufig zu einem *allgemeinen Reiz-Reizantwort-Gesetz statistischen Charakters von der Form: die in Organismenpopulationen auftretenden Reizantworten verhalten sich wie Ordinaten eines* GAUSS*schen Integrals, deren zugehörige Abszissen die auslösenden Reizstärken quantitativ widerspiegeln.*

Manche biologischen Tatsachen und Überlegungen sprechen dafür, daß dieses Gesetz auch *für das Einzelindividuum*, d. h. für die „*Zellpopulation*" seines reagierenden Organs oder einer anderen Zellleistungsgruppe gilt, in der sich eine bestimmte biologische Leistungsfähigkeit auf die einzelnen Zellindividuen wieder binomial verteilen muß. Das bisherige WEBERsche und das WEBER-FECHNERsche *Gesetz würde sich dann als Näherungsformulierung innerhalb eines gewissen Reizbereiches des allgemeinen Reiz-Reizantwort-Gesetzes auffassen lassen.* Als Arbeitshypothese ergeben sich daraus mancherlei Folgerungen für das Studium weiterer Reiz-Reizantwort-Verhältnisse und für ein funktionales Verstehen biologischer Vorgänge.

Literatur.

G. VON BUNGE, Lehrbuch der Physiologie des Menschen, 2. Aufl. 1. Leipzig 1905. — G. TH. FECHNER, Elemente der Psychophysik. Leipzig 1860. — K. KISSKALT, Z. Hyg. 81, 42 (1915). — S. KOLLER, Arch. Kreislaufforsch. 1, 225 (1937). — M. v. PFAUNDLER, Münch. med. Wschr. 1942, 115. — R. PRIGGE, Erg. Hyg. usw. 22, 1 (1939). — Naturwiss. 1941, 599. — B. DE RUDDER, Klin. Wschr. 1943, 453. — E. H. WEBER in RUD. WAGNER, Handwörterbuch der Physiologie 3, Abt. 2, 539. Braunschweig 1846. — B. ZIEZOLD, Z. Hyg. 124, 93 (1942).

Elektrostatische Generatoren.

Von ULRICH NEUBERT, Braunschweig.

1. *Geschichtliches.*

Die stürmische Entwicklung der Kernphysik im letzten Jahrzehnt hat gleichzeitig in einem weiteren Gebiet der Physik neue Fortschritte und Erkenntnisse hervorgebracht. Die mit kernphysikalischen Versuchen tätigen Physiker sahen sich immer wieder vor das Problem gestellt, Hochspannungsquellen zu schaffen, deren Spannung nach Möglichkeit mindestens 1 Million Volt (1 MV) betragen sollte. Bei der Reaktion der Atome zweier Elemente, die von derart hohen Spannungen beschleunigt sind und hierbei aufeinanderprallen, treten Erscheinungen auf, die unsere Vorstellungen vom Bau und Wesen der Atomkerne tastend weiter vertiefen können.

Den Anforderungen an diese Höhe der Spannung war die Hochspannungstechnik mit den bis zu dieser Zeit bekannten Ventilrohrschaltungen zunächst gar nicht gewachsen. Die Physiker entwickelten daher im Anschluß an die alten elektrostatischen Influenzelektrisiermaschinen den Bandgenerator. Der Magdeburger Bürgermeister OTTO VON GUERICKE (1602—1682) ist als der Erfinder der späteren Reib-Elektrisiermaschine anzusehen. Bei der Entdeckung der elektrischen Abstoßung bediente er sich einer großen gegossenen Schwefelkugel, die um eine Achse drehbar war und mit einem Wollappen gerieben wurde. Die daraus entstandenen Reib-Elektrisiermaschinen mit Glasplatten [WINTER 1740 und VAN MARUM 1786 (1)] wurden erst viel später (1865 und 1867) durch die elektrostatischen Influenzmaschinen der beiden deutschen Physiker A. TOEPLER und H. HOLTZ abgelöst. Mit einer Maschine dieser Gattung hat W. WIEN in Würzburg seine klassischen Kanalstrahlarbeiten ausgeführt; ebenso entstanden viele Arbeiten mit Röntgenstrahlen unter ihrer Zuhilfenahme. Auf Ideen von WALKIERS (Brüssel 1784) und Lord KELVINS (London 1890) fußend, hat VAN DE GRAAFF (1931) die Konstruktion eines elektrostatischen Bandgenerators (2) angegeben. In den USA. führte die Entwicklung zum Bau immer größerer Einheiten (3) von Bandgeneratoren. Die größte Anlage dieser Art errichteten die Russen in Charkow (15), wobei ein gewölbtes metallenes Luftschiffballendach als Gegenelektrode zum Hochspannungspol diente. In Deutschland ging W. KOSSEL mit seiner Schule daran, die Eigenschaften solcher Maschinen zu studieren sowie Strom- und Spannungsgrenzen (4) zu klären. Weiterhin entwickelte er planmäßig den Selbsterregungsvorgang (5) und gab Schaltungen mit erhöhter elektrischer Bandbeladungsdichte bekannt (6, 7).

2. *Arbeitsprinzip des Bandgenerators.*

a) Fremderregung. In der Anordnung der Fig. 1 wird zwischen der Metallplatte T und der Spitze S eine Spannung von 20 000 V angelegt. Von der positiven Spitze S wird nun zur Influenzplatte T positive Ladung übersprühen, die aber die Platte T nicht erreicht, sondern von dem endlosen Isolierstoffband B abgefangen wird. Das Band läuft über 2 Rollen und trägt die aufgefangene positive Ladung in den Innenraum der Hochspannungselektrode E (Konduktor, Sammelelektrode). Die positive Ladung des Bandes wird von der Spitze des Kollektors K „abgesaugt" und gelangt über die Spitze f durch Sprühen auf die Oberfläche der

Elektrode, die sich auf eine sehr hohe, noch näher zu untersuchende (in unserem Falle also positive) Spannung auflädt. Man bedient sich hier zur Übertragung der Ladung vom Kollektor K auf die Elektrode nochmals einer Spitze f, da dann der Kollektor K ein positives Potential gegenüber der Sammelelektrode annimmt. Diese Tatsache kann man benutzen, um der aus der Elektrode herauslaufenden Bandhälfte negative Influenzladungen zwischen der Spitze e und der Influenzplatte von K aufzusprühen. Durch die dadurch weggeschaffte gleichgroße Ladungsmenge entgegengesetzten Vorzeichens wird die gesamte Ladungsmenge je Zeiteinheit, d. h. der Strom, den die Sammelelektrode enthält, verdoppelt.

Fig. 1. Grundvorgang am Bandgenerator bei Fremderregung.

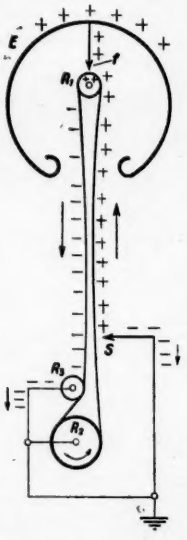


Fig. 2. Bandgenerator mit Selbsterregung.

b) Selbsterregung (5, 7, 8). Im einfachsten Fall besteht hierbei die im Innenraum der Elektrode befindliche Rolle aus Isolierstoff (Glas, Celluloid). Sofern das Rollenmaterial eine Dielektrizitätskonstante (DK.) besitzt, die von der des Isolierstoffbandes (Gummi, Seide, Ballonstoff, Astralon) verschieden ist, tritt bei Berührung und nachfolgender Trennung des Bandes von der Rolle sog. Reibungselektrizität auf. Der Stoff mit der größeren DK. lädt sich positiv auf (COEHNsche Regel 1898). Bei einem System Glasrolle—Gummiband wird die Glasrolle positiv geladen, das Band negativ. Dieser Einleitungsvorgang genügt, um einen Bandgenerator voll zu erregen, wenn man die nachfolgenden Influenzwirkungen ausnutzt, wie z. B. Fig. 2 zeigt. Das durch „Reibung" mit einem Überschuß an negativer Ladung versehene, aus der Elektrode E herauslaufende Bandstück führt diese Ladung über die metallene Spannrolle R_3 zur Erde ab. Auf seinem Wege dorthin influenziert das ablaufende Bandstück auf dem gegenüberliegenden, aufsteigenden Band positive Ladungen, während es gleichzeitig die negativen Influenzladungen über die Spitze S zur Erde abdrückt. Das aufsteigende Band gelangt also mit einem Überschuß an positiver Ladung in den feldfreien Innenraum (Faraday-Käfig) der Sammelelektrode, wo ihm die Ladung durch die Spitze f abgenommen und der Sammelelektrode zugeführt wird. Der „Erregungsvorgang" beginnt sehr schwach, verstärkt sich aber so rasch, daß nach 5—6 Bandumläufen die Maschine sich bis zu ihrer vollen Leistungsfähigkeit „erregt" hat.

Da die beiden Bandhälften mit Ladung entgegengesetzter Polarität belegt sind, ziehen sie sich elektrostatisch an. Für die Ausnutzung und Verstärkung des Influenzeffektes ist es vorteilhaft, dieser Anziehung Vorschub zu leisten und die Bandhälften sich bis auf einen geringen Spalt nähern zu lassen.

3. Einteilung der Maschinen.

Die Maschinen (einschl. der alten Influenzmaschinen von TOEPLER und HOLTZ) lassen sich — nach W. KOSSEL (4) — in 2 Gruppen einteilen, die durch ganz besondere Eigenschaften gekennzeichnet sind; nämlich in Haupt- und Nebenfeldmaschinen. Als Hauptfeld wird das Feld der Sammelelektrode oder -elektroden, als Nebenfeld das Feld des transportierenden Ladungsträgers (Band, Scheibe) bezeichnet. Der Grundvorgang an den Maschinen besteht darin, daß Ladungen entgegen der Abstoßung des Hauptfeldes zur Sammelelektrode transportiert werden müssen. Für die Betriebseigenschaften ist nun entscheidend, auf welche Weise der transportierende Ladungsträger seine Ladung erhält. Wird das Band (Scheibe) durch das Hauptfeld selbst aufgeladen (Bauart TOEPLER, HOLTZ; hier geschieht die Beladung durch Vermittelung eines Nebenschlusses [Sprühstrecken] zum Hauptfeld), dann spricht man von einer Hauptfeldmaschine. Sie ist immer selbsterregend und zeichnet sich durch starke Spannungsabhängigkeit vom Verbraucherstrom aus (evtl. Entregung oder Umpolung). Eine Nebenfeldmaschine liegt dann vor, wenn der Ladungsträger als Träger des Nebenfeldes durch ein fremdes Feld (Fremderregung, Fig. 1) erfolgt. Haupt- und Nebenfeld bestehen dann unabhängig voneinander, haben also nur geringe Rückwirkungen aufeinander. Auch die Anordnung der Fig. 2 stellt eine Nebenfeldmaschine dar; denn hier vollzieht sich die einleitende Beladung des Bandes in dem feldfreien Raum der Sammelelektrode, ist also auch der Einwirkung des Hauptfeldes entzogen. Obwohl es Konstruktionsvorschläge von Bandgeneratoren als Hauptfeldmaschinen gibt, sind diese in der Praxis wegen ihrer nachteiligen Eigenschaften nicht ausgeführt worden.

4. Spannung.

Die Höhe der erreichbaren Spannung hängt von der Geometrie der Anordnung ab. Die höchste Spannung U_{max} der Sammelelektrode wird bedingt durch die Durchbruchfeldstärke E_D (Feldstärke, bei der ein Funken überspringen würde) an ihrer Oberfläche (4). Bei einer frei im Raum schwebenden Kugel (Radius R) würde $U_{max} = E_D \cdot R$. Für eine im Versuchsraum untergebrachte kugelförmige Elektrode wird, wenn R_w den Abstand vom Elektrodenmittelpunkt bis zu der am dichtesten an die Elektrode herantretenden Wand bedeutet:

$$U_{max} = E_D \cdot R\,(1 - R/R_w) \quad (1)$$

Beispiel: Eine Kugelelektrode von 1 m Durchmesser, die sich in der Mitte eines mittelgroßen Versuchsraumes von $5 \times 5 \times 5$ m Größe befindet, kann die Spannung von 1,2 Mill. Volt gegen Erde (Zimmerwände) annehmen.

Aus weiteren Überlegungen dieser Art folgt, daß man die Spannung durch Anwendung einer Mehrelektrodenbauart (9, 10) (Fig. 3a) erhöhen kann. Den Potentialverlauf einer solchen Anordnung zeigt Fig. 3b. Hier wird der feldfreie Innenraum der Kugel (vom Radius R) ausgenutzt. Sie kann, wie der Potentialverlauf zeigt, das Potential V_R maximal gegen die Zimmerwände annehmen. Die innere Kugel kann nun aber gegen die äußere auch ein Potential V_r erhalten, so daß das Gesamtpotential gegen Erde die Summe beider Potentiale, nämlich V_{R+r}, wird.

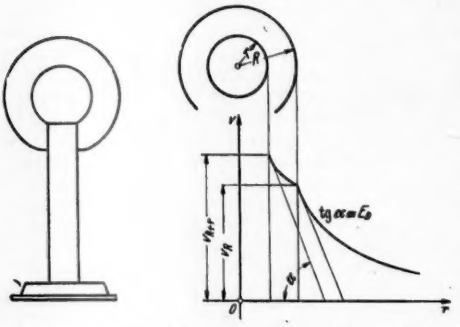
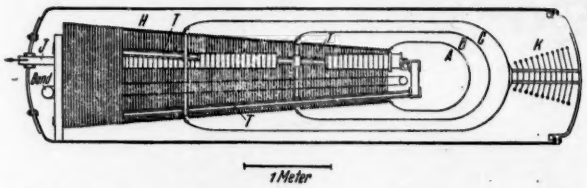


Fig. 3a und b. Zweielektrodengenerator und Potentialverlauf an seinen Elektroden.

Wenn wir in unserem obigen Beispiel der Elektrode von 1 m Durchmesser eine weitere Elektrode von 0,5 m Durchmesser einbeschreiben, dann kann die innere gegen die Wände das Potential von 1,575 Mill. Volt annehmen. In der Praxis erreicht man etwa 85% dieser Werte. Weitere Spannungssteigerung erhält man durch Einbringen der Elektroden in einen Raum erhöhter Durchbruchfeldstärke (11). Mit steigendem Luftdruck z. B. nimmt — etwa proportional bis zu einer Grenze von ca. 25 Atm. — die Durchbruchfeldstärke E_{D_4} zu [Gesetz von PASCHEN (12)]. Eine ausgeführte Anordnung, bei welcher die ineinandergeschachtelten Sammelelektroden in einem Druckluftkessel untergebracht sind, zeigt Fig. 4 [4,5 Mill. Volt-Generator (10)]. Die Durchbruchfeldstärke steigt weiterhin bei Anreicherung der Luft mit Dämpfen von Tetrachlorkohlenstoff $C{\cdot}Cl_4$ (5, 8) oder Dichlordifluormethan $C{\cdot}Cl_2F_2$ (Freon 12). Beide Mittel zur Erhöhung der Durchbruchfeldstärke, nämlich Anwendung von Druckluft und Anwesenheit der $C{\cdot}Cl_4$- oder $C{\cdot}Cl_2F_2$-Dämpfe, werden meist vereint angewandt (13).



A, B, C Elektroden aus 0,32 cm dickem Aluminiumblech — *H* Potentialsteuerung aus Aluminiumringen — *I* Ionenstrahlröhre — *K* Isolator, die Elektrode *C* tragend — *T* Träger aus Textolitröhren — Band aus Baumwolle

Fig. 4. Generator für 4,5 MV in einem Druckgaskessel.

5. Strom.

Der Strom I, der durch das Band zur Hochspannungselektrode transportiert wird, bestimmt sich nach der Gleichung (5)

$$I = \sigma \cdot b \cdot v. \quad (2)$$

Hierbei bedeuten σ die elektrische Beladungsdichte und v die lineare Geschwindigkeit des Bandes, b die Bandbreite. Bei Vorhandensein einer Umladevorrichtung in der Hochspannungselektrode (Kollektor K in Fig. 1), die den weglaufenden Bandteil mit Ladung entgegengesetzter Polarität belegt, verdoppelt sich der Strom. Es wird $I = 2 \cdot \sigma \cdot b \cdot v$. Bei Influenzbeladung kann nur eine Oberfläche des Bandes beladen werden. Gelänge es, beide Oberflächen des Bandes zu beladen, dann würde sich der Strom I noch einmal um den Faktor 2 vermehren. Da die Stromlieferung durch das Band gering ist, werden Bandzahl, Bandbreite und Bandgeschwindigkeit bis zu den mechanischen bzw. räumlichen Grenzen erhöht. Die Belegungsdichte σ, die in Luft $\sigma = \varepsilon \cdot E_D = 2{,}65 \cdot 10^{-9}$ Coulomb/cm² beträgt (ε = Dielektrizitätskonstante), wird ebenfalls durch Anwendung von Preßluft mit angereichertem $C{\cdot}Cl_4$ oder $C{\cdot}Cl_2F_2$ heraufgesetzt, da nach Obigem hierbei E_D ansteigt.

Beispiel: Ein Generator habe 2 Bandtriebe, deren Breite je 30 cm, ihre lineare Bandgeschwindigkeit je 25 m/s betrage. Dann ergibt sich bei Vorhanden-

sein einer Umladevorrichtung ein Strom $I = 0{,}8$ mA. In Wirklichkeit erreicht man etwa 60% dieses Wertes, also rd. 0,5 mA. Eine Verbesserung des letzten Wertes um den Faktor 2 bis 4 leistet dann noch die Anwendung von Druckluft und Anreicherung mit $C{\cdot}Cl_4$ bzw. $C{\cdot}Cl_2F_2$, so daß gute Generatoren heute die Stromstärke von 1 bis 2 mA aufweisen.

Andere Vorschläge zur Erhöhung der Belegungsdichte σ laufen darauf hinaus, die beiden entgegengesetzt aufgeladenen Bandhälften so dicht zusammenzubringen, daß sie aufeinandergleiten (6, 7). Man erhält dann eine Art ebenen „gleitenden Plattenkondensator" (Fig. 5). Das elektrische Feld der Ladungen dieser „Platten" außerhalb von ihnen verschwindet völlig, da die Ladungen sich wegen ihrer dicht benachbarten Lage so gut absättigen, daß keine Streufeldlinien auftreten. Im Inneren des Kondensators verlaufen die Feldlinien fast ausschließlich in einem festen Dielektrikum, in welchem ε sowohl wie E_D sehr groß sind, so daß $\sigma = \varepsilon \cdot E_D$ ebenfalls sehr groß sein wird, und zwar theoretisch etwa den 10fachen Wert wie in Luft annehmen kann. Der geringe zwischen den „Platten" vorhandene Luftspalt von weniger als $^1/_{10}$ mm stört dabei nicht, da die kritische Feldstärke nicht mehr zum elektrischen Durchbruch führt, wenn die Gasstrecke, auf der sie vorhanden ist, allzu klein wird (6).

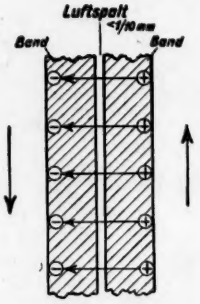


Fig. 5. Aufeinandergleitende, beladene Transportbänder.

6. Kennlinien.

Zur Beschreibung der wichtigsten Eigenschaften eines Bandgenerators genügen 3 Kennlinien (14). Man ermittelt sie im speziellen Fall durch Versuch. Der Typ der Kennlinien für eine Maschinengattung bleibt aber immer der gleiche. Für die Nebenfeldmaschine, als welche die Bandgeneratoren bisher nur ausgeführt sind, haben sie den Verlauf, wie er in Fig. 6a—c dargestellt ist.

1. Drehzahlkennlinie $I = f(n)$ bei verschiedenen Belastungswiderständen R (Fig. 6a). Der Strom steigt nach Gl. (2) proportional mit der Bandgeschwindigkeit v oder, was dasselbe ist, mit der Drehzahl. Im Kurzschluß ($R = 0$) ist die Stromergiebigkeit größer als bei Belastung ($R > 0$). Das weniger als proportionale Ansteigen des Stromes bei hoher Drehzahl hat seine Ursache im beginnenden Gleiten des Bandes auf der Antriebstrommel.

2. Belastungskennlinie $U = f(I)$ (Fig. 6b). Die Spannung an der Sammelelektrode ist im Leerlauf am größten. Mit steigendem entnommenen Strom sinkt die Spannung zunächst langsam — bis zu einer Belastung mit etwa drei Viertel des Kurzschlußstromes — dann fällt sie rasch auf Null. Die Spannung ist nicht nur abhängig vom Verbraucherstrom, sondern auch vom Verluststrom — der durch Sprühverluste (Corona) und Ableitungsverluste entsteht — und noch von der Stromergiebigkeit der Maschine. Denn der durch die Transportorgane nachgelieferte Strom muß Verbraucherstrom und Verluststrom decken. Ist die Ergiebigkeit groß, so wird der durch die Bänder nachgelieferte Strom auch bei hohem Belastungsstrom (gerechnet als Bruchteil des Kurzschlußstromes) noch den Verluststrom decken, d. h. die Maximalspannung aufrechterhalten können. Aus dieser wichtigen Kennlinie kann man also die Maximal- oder Leerlaufspannung, den Kurzschlußstrom und die Stromergiebigkeit eines Bandgenerators erkennen.

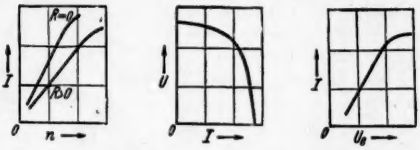


Fig. 6. a) Drehzahlkennlinie, b) Belastungskennlinie, c) Erregerkennlinie eines Bandgenerators.

3. Erregerkennlinie $I = f(U_e)$, Strom, der durch die Transportbänder zur Elektrode fließt (gemessen im Kurzschluß) in Abhängigkeit von der Erregerspannung. Bei der Planung eines Bandgenerators für Fremderregung muß man eine Kontrolle haben, ob die Leistungsfähigkeit der Erregerquelle genügt, um den erwarteten Strom zu liefern. Der abgegebene Strom steigt proportional mit der Erregerspannung bis zu einer bestimmten Grenze, der Sättigungsgrenze. Sie stellt sich dann ein, wenn das Band seine höchstmögliche Beladung ($\sigma = 2{,}65 \cdot 10^{-9}$ Coulomb) erhalten hat. Bei der Planung muß man bei vorgegebener höchster Erregerspannung durch konstruktive Maßnahmen dafür sorgen, daß der gewünschte Strom noch unterhalb des Sättigungsgebietes liegt.

7. Bauarten.

Die Ausführungsformen der Bandgeneratoren sind mannigfaltig und haben sich während ihrer Entwicklung erheblich gewandelt. Die ersten Maschinen sahen rein äußerlich unserem Schema der Fig. 1 ähnlich. Sie bestanden aus einer kugelförmigen Hochspannungselektrode, die von einer Pertinaxsäule getragen wurde, in deren Innern die Ladungstransportbänder (meist zwei) liefen. Dabei wuchsen im Laufe der Entwicklung die Dimensionen der Anordnungen immer mehr an. Elektroden bis zu 10 m Durchmesser (15) wurden hergestellt. Bänder (0,4—2 mm Dicke) von 1 m Breite bei Bandgeschwindigkeiten bis zu 40 m/s waren nichts Seltenes (2). Die Durchmesser der

Pertinaxträgersäulen betrugen bei 2 cm Wandstärke bis zu 2 m. — Stromstärken von 1,1 mA (2) und Spannungen bis zu 7 Mill. Volt (15) wurden erreicht.

Der Verbraucher, meist ein Entladungsrohr für Ionen- oder Elektronenstrahlen, ist im allgemeinen parallel zu der Pertinaxsäule angeordnet.

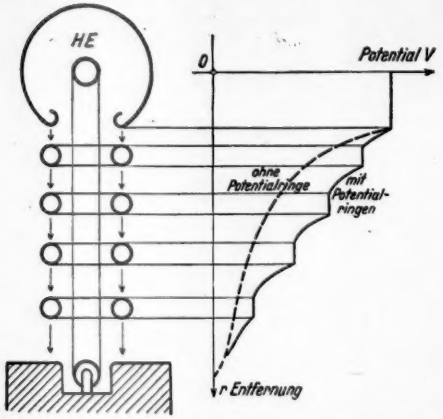


Fig. 7a und b. Generator mit Sprühringen zur Steuerung des Potentialverlaufs.

Inzwischen hat man erkannt, daß die wirtschaftlichste Form des Bandgenerators die des in einen Druckkessel eingebauten Systems ist (Fig. 4) (10). Man kann hier mit einfachen Mitteln Trockenheit und Zusammensetzung des Gases regeln. Auf diese Weise gelingt es, auf kleinstem Raum (Stahltank von 6 m Länge und 1,5 m Durchmesser) höchste Spannungen (4,5 Mill. Volt) zu installieren. Bei hohen Ansprüchen an die Konstanz der Spannung (Schwankung $> 0{,}5\%$) wird mit Hilfe eines Ableitungsglimmstromes das Gitter eines Röhrenreglers gesteuert, der die Erregerspannung U_e beeinflußt (11). Sinkt z. B. aus irgendeinem Grunde die Spannung der Elektrode ab, so wird durch den Röhrenregler die Erregerspannung U_e erhöht. Damit ist eine Vergrößerung der Belegungsdichte auf dem Band verbunden, die die Spannung der Elektrode wieder auf ihren ursprünglichen Wert steigert.

Bei vielen Generatoren ist ein System von Sprühreifen von der Hochspannungselektrode zur Erde angebracht (Fig. 4). Seine Aufgabe besteht darin, einen regelmäßigen Potentialabfall von der Elektrode zur Erde zu sichern. Wie aus Fig. 7b hervorgeht, besteht ohne Sprühringe in der Nähe der Elektrode ein sehr starker Potentialabfall (gestrichelte Kurve), der leicht zu Gleitfunken längs der Trägersäule oder des Entladungsrohres führen kann. Durch Anbringen der Sprühreifen gelingt es, dem Potentialverlauf eine günstige Gestalt zu geben (ausgezogene Kurve). Der geringe Sprühstrom, der von der Elektrode in Pfeilrichtung (Fig. 6a) über die Sprühringe fließt, wirkt so, als wenn zwischen den einzelnen Sprühringen sehr hohe Widerstände geschaltet wären, d. h. der Sprühstrom drückt jedem von ihnen ein bestimmtes Potential auf, so daß sich ein abgeflachter Verlauf desselben einstellt, wie ihn die Fig. 6b zeigt.

8. *Ausblick.*

Das Anwendungsgebiet der Bandgeneratoren blieb nicht allein auf die Kernphysik beschränkt. Sie werden auch zur Erforschung des kurzwelligen Endes der Röntgenstrahlen herangezogen. Auch die mit Röntgentherapie arbeitenden Ärzte bedienen sich heute schon in einigen Fällen zum Betrieb ihrer Röntgenanlage eines Bandgenerators.

Da die Stromergiebigkeit eines Bandgenerators jedoch gering ist, spielt er für die Energiewirtschaft keine Rolle. Man hat versucht, Scheibenmaschinen als Nebenfeldmaschinen zu bauen, deren Entwicklung noch völlig im Fluß ist (16). Die Aussichten, daß die Leistung pro Volumeneinheit dieser Maschinen derjenigen der elektromagnetischen Maschinen nahekommt, sind nach Ansicht der Autoren günstig. Eine Umstellung des Energietransportes von Wechselstrom auf Gleichstrom wäre die Folge.

Literatur.

1. VAN MARUM, Beschreibung einer ungemein großen Elektrisiermaschine. Leipzig 1786. — 2. R. J. VAN DE GRAAFF, Physic. Rev. **38**, 1919 (1931). — VAN DE GRAAFF, COMPTON, VAN ATTA, Physic. Rev. **43**, 149 (1933). — 3. M. A. TUVE, L. R. HAFSTAD, O. DAHL, Physic. Rev. **48**, 315 (1935). — L. C. VAN ATTA, D. L. NORTHRUP, C. M. VAN ATTA, Physic. Rev. **49**, 761 (1936). — 4. W. KOSSEL, Bemerkungen über elektrost. Maschinen. Z. Physik. **111**, 264 (1938). — 5. U. NEUBERT, Z. Physik. **110**, 334 (1938). — 6. W. KOSSEL u. F. HEISE, Elektrostatische Maschinen mit übernormaler Ladungsdichte. Z. Physik. **113**, 769 (1939). — 7. F. HEISE, Erregungs- und Transportvorgänge an einer selbsterregten van de Graaff-Maschine. Z. Physik. **116**, 317 (1940). — 8. W. BOTHE u. W. GENTNER, Z. Physik. **104**, 685 (1937). — 9. U. NEUBERT, Z. techn. Physik **23**, 187 (1942). — 10. R. G. HERB, C. M. TURNER, C. M. HUDSON, R. E. WARREN, Physic. Rev. **59**, 579 (1940). — 11. D. B. PARKINSON, R. G. HERB, E. J. BENNET, J. L. McKIBBEN, Physic. Rev. **53**, 642 (1938). — 12. F. PASCHEN, Pogg. Ann. **37**, 69 (1889). — 13. J. G. TRAMP, R. J. VAN DE GRAAFF, Physik. Rev. **55**, 1160 (1939). — 14. U. NEUBERT, Elektrostat. Generatoren. R. Oldenbourg 1942. — 15. A. K. VALTHER, K. D. SILNELNIKOV, A. J. TARANOV, Bull. Acad. Sci. USSR., Sér. physique **1938**, Nr 1/2, 13. (russisch). — 16. A. F. JOFFE, B. M. HOCHBERG, J. of Phys. USSR. **2**, 243 (1940).

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Tierexperimentelle Indikatoruntersuchungen mit radioaktivem Kupfer.

Das radioaktive Kupfer wurde durch Bestrahlung von metallischem Kupfer mit Deuteronen gewonnen, mit einigen Tropfen konzentrierter Schwefelsäure vom bestrahlten Kupferblock abgelöst und zu Kupfersulfat verarbeitet. Etwa 4—5 Stunden nach dem Duteronenbeschuß wurde das radiokupferhaltige Kupfersulfat zwei Hunden A und C von 14,0 bzw. 19,5 kg Gewicht in physiologischer Kochsalzlösung intravenös injiziert. Die Gesamtaktivität der verabreichten radiokupferhaltigen Kupfersulfatlösung betrug bei Hund C etwa 15 Stunden nach der Bestrahlung 870 μC auf 39,5 mg $CuSO_4$, bei Hund A etwa 25 Stunden nach der Bestrahlung 523 μC auf 62 mg $CuSO_4$. In verschiedenen Zeitabständen nach der Injektion wurden Blutproben entnommen und das Plasma von den Blutkörperchen getrennt. Hund C wurde 10,5 Stunden, Hund A 20 Stunden nach Verabreichung der radiokupferhaltigen Kupfersulfatlösung getötet. Gleiche Gewichtsteile der verschiedenen Gewebe und Organe, der Plasma- und Blutkörperchenproben sowie der Körperausscheidungen wurden mit konzentrierter Schwefel- und rauchender Salpetersäure bis zur völligen Oxydation gekocht. Nach Neutralisieren gegen konzentrierte Ammoniaklösung und Zusatz von jeweils 10 mg inaktiven Kupfers wurde das Kupfer in schwach saurer Lösung mit Natriumsulfid (D.A.B. 6) ausgefällt. Nach Filtration des Niederschlags wurden die Aktivitäten der stärkeren Präparate auf dem Filter mit Hilfe einer Ionisationskammer, die der schwächeren mittels eines Geiger-Müller-Zählrohrs gemessen. Mit der bekannten Halbwertzeit des Kupfers (12,8 Stunden) wurden sämtliche gewonnenen Aktivitäten auf den Zeitpunkt der Tötung der Hunde umgerechnet.

Fig. 1 gibt den Radiokupfergehalt der verschiedenen Blutproben wieder. Der Unterschied der Anfangsteile der beiden Plasmakurven ist offenbar dadurch bedingt, daß Injektion und Blutentnahmen bei Hund C an der gleichen Vene, bei Hund A dagegen an Gefäßen verschiedener Extremitäten durchgeführt wurden. Erwartungsgemäß war bei der ersten Blutentnahme $1^1/_2$ Minuten nach der Injektion bereits Kupfer nachweisbar. Während jedoch der Serumkupfergehalt bei Entnahme an der Injektionsstelle nach $1^1/_2$ Minuten am höchsten war, erreichte er bei Hund A erst nach etwa 8 Minuten das Maximum. Da vereinzelt vorgenommene Untersuchungen der Blutzellen bei Hund A ergeben hatten, daß bemerkenswerterweise auch die Blutzellen Kupfer aufnehmen, wurde deren Radiokupfergehalt bei Hund C (vgl. Kurve) laufend verfolgt. Es zeigte sich, daß das Kupfer in den morphologischen Blutelementen langsam ansteigt, dafür aber erheblich länger als im Plasma festgehalten wird. So betrug bei Hund C der Radiokupfergehalt der Blutzellen 10,5 Stunden nach Injektion etwa 1,6%, der des Plasmas 1,2% der Gesamtaktivität. Bei Hund A waren nach 20 Stunden sogar 4,9% in den Blutzellen gegenüber 0,5% im Plasma festzustellen.

Zu keiner Zeit war in dem Blute der Hunde die gesamte injizierte Aktivität nachweisbar, sondern höchstens 45 bzw. 60% davon. Demnach dürften die Gewebe sofort bei den ersten Kapillarpassagen einen beträchtlichen Teil des Metalls abfangen. Wohin im einzelnen das Kupfer wandert, zeigten die Analysen der verschiedenen Gewebe und Organe; ihre Ergebnisse sind in der Tabelle zusammengestellt. Den größten Kupfergehalt aller Organe weist jeweils die Leber auf. Erst in weitem Abstand folgen die anderen Organe. Setzt man die Aktivität der gesamten Leber in den beiden Versuchen gleich 100, so enthalten beispielsweise die Nieren nur etwa 3,8 bzw. 4,4%, Lunge 0,7 bzw. 1,3%, Herz 0,14 bzw. 0,36% und das Pankreas nur etwa 0,02 bzw. 0,07% der Leberaktivität. Wie die Untersuchung der Blasengalle zeigt, bildet die Leber auch das Hauptexkretionsorgan für das Kupfer, und zwar scheint die hepatische Kupferausscheidung relativ langsam vor sich zu gehen, da die 20 Stunden-Galle ein Vielfaches der Aktivität der 10,5 Stunden-Galle aufweist.

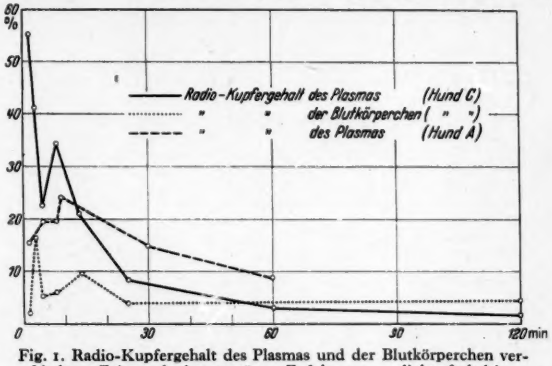


Fig. 1. Radio-Kupfergehalt des Plasmas und der Blutkörperchen verschiedene Zeit nach intravenöser, Zufuhr von radiokupferhaltigem Kupfer (in Prozenten der zugeführten Gesamtaktivität).

Die Absonderung der Galle in den Darm wirkt sich in einer Zunahme des Kupfergehaltes der Ingesta im Verlaufe der Darmpassage aus. Während die Aktivität des Mageninhaltes sehr gering ist, steigt sie im oberen Dünndarm erheblich an, um in den tieferen Darmabschnitten noch weiterhin zuzunehmen; diese letzte Zunahme ist wohl zum Teil durch Eindickung des Kots bedingt. Es erscheint uns jedoch zweifelhaft, ob der hohe Kupfergehalt des Darminhalts allein auf den Gallezufluß zu beziehen ist. Rechnerische Überlegungen ergeben, daß dies nur bei unphysiologisch hoher Gallensekretion möglich wäre. Daher ist anzunehmen, daß auch die Schleimhaut des Dünn- und Dickdarms aktiv an der Kupfersekretion teilhat. Hierfür spricht auch der relativ hohe Kupfergehalt der Darmwand selbst.

An der Ausscheidung des Kupfers ist weiterhin noch das Nierensystem beteiligt. Bei der getrennten Untersuchung von Mark und Rinde der Niere ist die Festatellung interessant, daß sich fast das gesamte Kupfer in der Rinde vorfindet, hier offenbar in den Glomeruli, in denen der Gefäßwanddurchtritt erfolgt.

Relativ hohe Aktivitäten weisen die Milz und wahrscheinlich auch das Knochenmark auf. Unter den inkretorischen Drüsen überragen Hypophyse und Nebennieren die übrigen an Kupfergehalt. Recht hohe Werte fanden sich auch in der Lunge (durch die ausgedehnte Kapillarisierung bedingt?). In der Muskulatur war nur wenig Kupfer nachweisbar, dabei im Skeletmuskel etwa halb so viel wie im Herzmuskel. Sehr niedrig lagen die Aktivitäten in den einzelnen Teilen des zentralen Nervensystems.

Insgesamt zeigen die Untersuchungen, daß die Methode der radioaktiven Indikatoren eine wertvolle Handhabe zum Nachweis von Weg und Verbleib selbst minimalster Mengen bestimmter Elemente im Organismus ist. Hinsichtlich des Kupfers haben unsere Versuche vorerst ergeben, daß das intravenös eingebrachte Metall nicht nur im Plasma bleibt, sondern auch von den Blutzellen aufgenommen wird. Aus dem Blut fängt die Leber den weitaus größten Teil des

Radiokupfergehalt von Organen und Exkreten nach intravenöser Zufuhr von radiokupferhaltigem Kupfersulfat.

	Hund C: 10,5 Std. nach Injektion		*Hund A: 20 Std. nach Injektion*	
	Aktivität pro 1 g Organgewicht in Teilchen/min	Spezifische Aktivität je 1 g Organgewicht (Aktivität des ganzen Tieres = 1)	Aktivität pro 1 g Organgewicht in Teilchen/min	Spezifische Aktivität je 1 g Organgewicht (Aktivität des ganzen Tieres = 1)
Leber	51650	18,00	40000	16,7
Blasengalle*	5600	1,95	70000	29,2
Magen	700	0,24	1325	0,55
Dünndarm	1230	0,43	1775	0,74
Dickdarm	4250	1,52	2685	1,12
Inhalt des Magens	33	0,01	—	—
Inh. d. ob. Dünnd.	1480	0,52	—	—
Inh. d. unt. Dünnd.	2420	0,84	27500	11,45
Dickdarmkot	2760	0,97	—	—
Nierenrinde	13420	4,68	16700	6,96
Nierenmark	271	0,09		
Blasenwand	411	0,14	—	—
Urin*	197	0,07	507	0,21
Milz	1170	0,41	2585	1,08
Knochenmark	167	0,06	3050	1,27
Lymphknoten	500	0,17	—	—
Hypophyse	1000	0,35	—	—
Nebennieren	—	—	1500	0,62
Pankreas	404	0,14	963	0,40
Hoden	—	—	710	0,30
Thymus	109	0,04	—	—
Lunge	1330	0,46	2160	0,90
Skeletmuskel	208	0,07	450	0,19
Herzmuskel	422	0,15	1030	0,43
Haut und Unterhaut	—	—	600	0,25
Hirn				
weiße Substanz (Hemisphäre)	—	—	87	0,04
graue Substanz (Hirnstamm)	—	—	45	0,02
Kleinhirn	76	0,03	—	—
Rückenmark	92	0,03	—	—

*) 1 ccm

Kupfers ab. Die Ausscheidung erfolgt vor allem durch die Galle, zum kleineren Teil durch die Nieren und wahrscheinlich auch durch die Darmschleimhaut.

Aus einem Kriegslazarett (Chefarzt: Oberstabsarzt Dr. BEGGER) einer Kriegslazarett-Abteilung (Kommandeur: Oberfeldarzt Dr. MÜLLER). Heeresgruppenarzt: Generalstabsarzt Dr. HAUBENREISSER.

G. SCHUBERT. H. VOGT. W. MAURER. W. RIEZLER.
F.N. 03069 AD

Zum Mechanismus der Energiewanderung bei Oxydationsfermenten.

Bei der „Energiewanderung oder -fortleitung", die einen strahlungslosen dissipationsfreien Transport von Energiequanten durch Materie darstellt[1, 2]), und in letzter Zeit wachsendem Interesse auf physikalischen, chemischen und biologischen[3]) Gebieten begegnet, sind bisher zwei Haupttypen mit Sicherheit erkannt worden. Der eine ist mit der Fortleitung von Elektronen in durchgehenden Energiebändern verknüpft (*„elektronische"* Energiewanderung); er wurde an lumineszenzfähigen Kristallen (Kristallphosphoren) untersucht[3]) und konnte in seinem Wesen recht weitgehend geklärt werden[4]). Der andere Typ tritt bei Polymerisationsketten gewisser Farbstoffmoleküle auf[5]) und könnte durch eine resonanzartige Übertragung der Energie längs der Molekülkette erklärt werden. Die theoretische Deutung dieses zweiten Falles steht noch nicht völlig fest. Doch ist sicher, daß unter geeigneten Umständen auch durch Resonanzphänomene eine Energiewanderung zustande kommen kann[6]). Daneben ist noch die von O. SCHMIDT aufgestellte Hypothese der Nervenleitung zu erwähnen, wonach diese eine resonanzartige, mit chemischen Umlagerungen verbundene Energiewanderung längs einer Polypeptidkette sei[7]). [Die von HEDVALL[7]) neuerdings gegebene Deutung des Energienachschubs bei Oberflächenreaktionen dürfte hingegen einen Fall der elektronischen Energiewanderung darstellen[8])].

Neben der elektronischen, in ihrer Funktionsweise schon geklärten Energiewanderung stehen also noch andere, zum Teil noch nicht ganz geklärte Mechanismen der Energiefortleitung zur Verfügung. Hat man einen Fall von Energiewanderung in *belebter* Materie vor sich, so ist es von aktuellem Interesse, zu erfahren, welcher der möglichen physikalischen Transportmechanismen im betreffenden Falle vorliegt, da hieraus Schlüsse auf die Struktur der am Vorgang beteiligten Substanz gezogen werden können. Während es vorübergehend schien, als ob der an Farbstoffpolymerisaten mit „geldrollenartiger" Molekülanordnung gefundene Fall der Energiefortleitung sich besonders gut zur Übertragung auf Lebensvorgänge eigne, zeigten sich später Anzeichen dafür[9]), daß auch der „elektronische" — und vielleicht noch andere — Übertragungsmechanismen zur Erklärung biologischer Vorgänge herangezogen werden müssen, und daß man ferner auch den gewöhnlichen *Eiweißketten* die Fähigkeit der Energieübertragung zuschreiben müsse[10]). Einer der Gründe hierfür ergibt sich aus dem Beitrag, den SZENT-GYÖRGYI[11]) zur Frage der Energiewanderung bei biochemischen Vorgängen gegeben hat. SZENT-GYÖRGYI weist darauf hin, daß manche Vorgänge an Oxydations- und anderen Fermenten, insbesondere die Wechselwirkung zwischen den Eisenatomen der verschiedenen Fermente (Cytochrome usw.), ohne Annahme einer Energiewanderung nicht zu verstehen seien. Eine räumliche Annäherung der in Wechselwirkung stehenden Fe-Atome aneinander kommt nicht in Frage, da die Fe-Atome (bzw. Hämin-Gruppen) im Proteingerüst immobilisiert sind. Also muß die Energie von Fe-Atom zu Fe-Atom über größere Strecken wandern, und zwar kommt als „Energieleiter" vor allem das Proteingerüst selbst in Betracht[10]). [Man kann hieraus auch verständlich machen, warum die prosthetischen Gruppen dann besonders stark katalytisch wirken, wenn sie an Protein gebunden sind[10])].

Zweck dieser Notiz ist, darauf hinzuweisen, daß bei den Oxydationsfermenten *nur* ein *„elektronischer"* Mechanismus der Energiewanderung in Frage kommt.

Der vom eisenhaltigen Atmungsferment aus der Luft aufgenommene molekulare Sauerstoff verursacht die Überführung des Fermenteisens aus der 2wertigen Hämin-Stufe (Fe++) in die 3wertige Hämin-Stufe (Fe+++). Dieser Valenzwechsel wird an das Fe-Atom des Cytochroms a, b und c weitergegeben und so an den Wasserstoff des Substrats (bzw. der anderen, eisenfreien Fermente) herangetragen. Dies sei schematisch[12]) wiedergegeben:

$^1/_2\,O_2$	+ 2 Fe++ (Atmungsferment)	= 2 Fe+++ Atmungsferment)	+ O--	
2 Fe+++ (Atmungsferment)	+ 2 Fe++ (Cytochrom a)	= 2 Fe++ (Atmungsferment)	+ 2 Fe+++ (Cytochrom a)	
2 Fe+++ (Cytochrom a)	+ 2 Fe++ (Cytochrom b)	= 2 Fe++ (Cytochrom a)	+ 2 Fe+++ (Cytochrom b)	
2 Fe+++ (Cytochrom b)	+ 2 Fe++ (Cytochrom c)	= 2 Fe++ (Cytochrom b)	+ 2 Fe+++ (Cytochrom c)	
2 Fe+++ (Cytochrom c)	+ H_2 (Substrat)	= 2 Fe++ (Cytochrom c)	+ 2 H+	
		O-- + 2 H+	= H_2O	

Man erkennt sofort, daß es sich hier nicht lediglich um den Transport eines Erregungszustandes, sondern um den Transport einer *Ladung* handelt, d. h. um eine mit Elektronenwanderung verknüpfte, „elektronische" Energiewanderung. Wollte man annehmen, daß nur ein Energietransport, aber kein Ladungstransport vorliegt, so würde man den vorliegenden biochemischen Tatsachen nicht gerecht werden. Es steht fest, daß ein fortlaufender Valenzwechsel der Eisenatome erfolgt, daß also ein *Elektron* vom Fe-Atom des einen Cytochroms an das des anderen weitergegeben wird. Man könnte höchstens annehmen, daß etwa das dem Elektron entsprechende, entgegengesetzt geladene H^+-Ion auf irgendeinem Wege „parallel" dem Elektron mitwandert, so daß man es mit der Wanderung eines Dipols (Elektron-Wasserstoffion) zu tun hat. Aber auch dann bleibt noch die Notwendigkeit einer Elektronenwanderung von Fe-Atom zu Fe-Atom bestehen.

Man kann also etwa das folgende Energieschema für den Vorgang angeben:

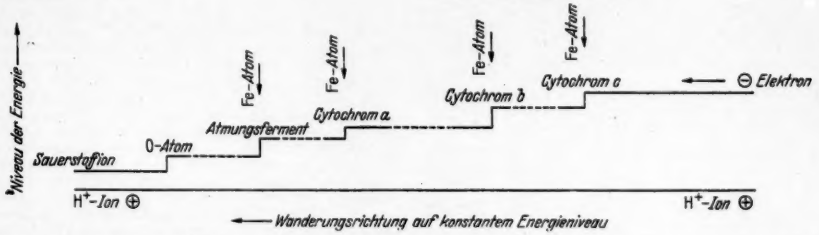


Fig. 1. Schematisches Energie-Modell der Energie- und Elektronenwanderung bei den Oxydationsfermenten aerober Zellen.

Die Elektronen wandern in der Figur von rechts nach links. Zuerst geht ein Elektron vom Atmungsferment auf das O-Atom über und verwandelt dieses in ein Sauerstoffion. Ihm folgt ein Elektron nach, das vom Cytochrom a her zugeleitet wird und auf die frei gewordene Stelle im Atmungsferment herabfällt. Der gleiche Vorgang spielt sich dann zwischen den Cytochromen b und a ab usf. Der Endeffekt ist der gleiche, als ob ein und dasselbe Elektron von rechts nach links wandert und von Cytochrom zu Cytochrom auf ein tieferes Energieniveau herabfällt, um schließlich auf das O-Atom überzugehen und dieses in ein Ion zu verwandeln. Auf diese Weise wird die an sich sehr große Energie der Knallgasreaktion nicht auf einmal, sondern stufenweise in Freiheit gesetzt, so daß nicht an irgendeiner Stelle plötzlich eine massierte Wärmemenge auftritt, sondern die frei werdenden Teilbeträge der Energie für die Leistungen der Zelle verwendet werden können. Diese Unterteilung stellt ja bekanntlich die wesentlichste Eigenart der biologischen Oxydationsvorgänge dar.

Wir sehen also, daß die Energiewanderung bei den genannten Fermenten keine andere als eine *elektronische* sein kann, woraus man mit einem hohen Grad von Wahrscheinlichkeit weiter schließen kann, daß das Proteingerüst bzw. die Polypeptidkette selbst zur *elektronischen* Energieübertragung befähigt ist. Die Vorgänge sind hier eng verwandt mit den Vorgängen, die wir an Kristallphosphoren studieren konnten.

Es dürfte reizvoll sein, die Rolle der Energiewanderungsvorgänge bei organischer (und auch anorganischer) Katalyse weiter zu verfolgen.

Berlin, Wissenschaftliche Hauptstelle der Auergesellschaft, den 14. September 1943. N. RIEHL.

[1]) N. RIEHL, Ann. Physik **29**, 636 (1937) — Naturwiss. **28**, 601 (1940).

[2]) G. SCHEIBE, Kolloid-Z. **82**, I (1938). — G. SCHEIBE, A. SCHÖNTAG u. F. KATHEDER, Naturwiss. **27**, 499 (1939).

[3]) N. W. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY, K. G. ZIMMER u. H. DELBRÜCK, Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Fach-Gr. VI, N. F. **11**, Nr. 13 (1935) — Z. indukt. Abstammungslehre **61**, H. 3, 330 (1936) — vgl. auch zusammenfassende Darstellung bei N. RIEHL, N. W. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY, K. G. ZIMMER, Naturwiss. **29**, 625 (1941).

[4]) F. MÖGLICH u. M. SCHÖN, Naturwiss. **26**, 199 (1938). — M. SCHÖN, Z. techn. Physik **19**, 361 (1938). — N. RIEHL u. M. SCHÖN, Z. Physik **114**, 682 (1939).

[5]) F. MÖGLICH, R. ROMPE, N. W. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY, Naturwiss. **30**, 409 (1942).

[6]) O. SCHMIDT, Naturwiss. **30**, 644 (1942) — Physik Z. **44**, 139 (1943).

[7]) J. A. HEDVALL, Chemie **55**, 334 (1942).

[8]) F. MÖGLICH u. R. ROMPE, Naturwiss. **1943**.

[9]) N. RIEHL u. K. G. ZIMMER, Naturwiss. **30**, 708 (1942).

[10]) N. RIEHL, R. ROMPE, N. W. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY u. K. G. ZIMMER, Protoplasma **1943**.

[11]) A. SZENT-GYÖRGYI, Nature (Lond.) **9**, 157 (1941).

[12]) Entnommen dem Buch von L. v. BERTALANFFY, Theoretische Biologie B. II.

Zimtsäureester und deren Bedeutung für die Chemotherapie der Lepra und der Tuberkulose.

II. Mitteilung.

Chaulmoograpräparate finden bekanntlich in der Chemotherapie der Lepra in Form ihrer Äthyl- oder Benzylester mit Erfolg Anwendung und werden zuweilen auch zur Behandlung tuberkulöser Erkrankungen herangezogen. Wir haben nun feststellen können, daß nicht nur die Chaulmoograsäure, sondern vor allem der Chaulmoogrylalkohol in Form seiner Oxycarbonsäureester eine günstige therapeutische Wirkung bei der auf Mäuse übertragenen Rattenlepra (Stefansky-Bacillus) erkennen läßt. Aus Ricinolsäure und Chaulmoogrylalkohol entstand so der Ricinolsäure-chaulmoogrylester

$$CH_3 \cdot [CH_2]_5 \cdot CHOH \cdot CH_2 \cdot CH = \\ = CH \cdot [CH_2]_7 \cdot COO \cdot CH_2 \cdot [CH_2]_{12}$$

Aus Milchsäure, Mandelsäure sowie Salicylsäure und Chaulmoogrylalkohol wurde der Milchsäure-Mandelsäure- und Salicylsäure-chaulmoogrylester hergestellt.

Vor kurzem haben wir berichtet[1]), daß die Veresterung der Zimtsäure mit Alkoholen gesättigter wie ungesättigter Natur zu Präparaten von gleichfalls deutlich erkennbarer Wirkung bei Rattenlepra führt.

Um nun eine Wirkungssteigerung im Sinne einer sterilisierenden Therapie herbeizuführen, wurden die obigen Oxycarbonsäure-chaulmoogrylester der Cinnamoylierung unterworfen. Aus Cinnamoylchlorid und Ricinolsäure-chaulmoogrylester wurde der Cinnamoyl-ricinolsäure-chaulmoogrylester gebildet.

$$C_6H_5 \cdot CH = CH \cdot COO$$

$$CH_3 \cdot [CH_2]_5 \cdot CH \cdot CH_2 \cdot CH = \\ = CH \cdot [CH_2]_7 \cdot COO \cdot CH_2 \cdot [CH_2]_{12}$$

Auf gleiche Weise wurde der Cinnamoyl-glykolsäure-, der Cinnamoyl-milchsäure-, der Cinnamoyl-mandelsäure- sowie der Cinnamoyl-salicylsäure-chaulmoogrylester gewonnen, Präparate, die demnach zwei therapeutisch wirksame Kom-

ponenten, den Cinnamoyl- als auch den Chaulmoogrylrest im Molekül enthalten, und die sich dann tatsächlich durch eine erhöhte therapeutische Wirksamkeit gegenüber der Rattenlepra auszeichnen, wie aus folgender Tabelle zu ersehen ist.

Tierexperimentelle Prüfung der Wirksamkeit gegen Rattenlepra.

Infolge nur langsamen Fortschreitens der Infektion wurde mit der Behandlung 3 Wochen nach erfolgter Infektion begonnen. Die Untersuchung nach 4wöchentlicher Behandlung (3 Injektionen) am lebenden Tier durchgeführt, ergab folgendes Wirkungsverhältnis im Vergleich zu unbehandelten Kontrolltiere:

	Linsen- bis bohnengroße Lepraknoten %	Kirschgroße u. ulzerierte Lepraknoten %
Cinnamoylglykolsäure-chaulmoogrylester . . .	100,0	—
Cinnamoyl-milchsäure-chaulmoogrylester . . .	93,3	6,7
Kontrollen	81,2	18,8

Zahl der behandelten Tiere: jeweils 20. Zahl der Kontrolltiere 40. Es wurden 5 mg wirksame Substanz bei jeder Behandlung injiziert, bezogen auf 20 g Maus.

Während nun die Cinnamoyl-oxycarbonsäure-chaulmoogrylester bei der Rattenlepra eine so günstige therapeutische Wirkung entfalten, haben sie am tuberkuloseinfizierten Meerschweinchen keinerlei Anzeichen einer therapeutischen Beeinflussung erkennen lassen.

Es muß somit festgestellt werden, daß die Rattenlepra besser von Derivaten der Zimtsäure und des Chaulmoogrylalkohols beeinflußt wird, während, wie aus tierexperimentellen[1]) und klinischen[2]) Versuchen zu entnehmen ist, für eine Behandlung der Tuberkulose lediglich Ester der Chaulmoograsäure (wie Antileprol-Bayer) in Frage kommen.

Frankfurt a. M., Forschungsinstitut für Chemotherapie, den 20. September 1943.

CARL BURSCHKIES. CARL SCHOLTEN.

[1]) C. BURSCHKIES, Zimtsäureester und deren Bedeutung für die Chemotherapie der Lepra und der Tuberkulose. Naturwiss. **1943**, S. 369.

[2]) R. PRIGGE, Moderne Chemotherapie der Tuberkulose. I. Internat. Kongreß d. Therap. Union. Bern 1937.

[3]) H. ALWENS, Beitr. klin. Tbk. **89**, 711 (1937).

Die Kristallstrukturen im System Mangan (Eisen)-Zinn.

Das System Mangan-Zinn wurde röntgenographisch untersucht, wobei folgende Verbindungen gefunden wurden: $Mn_{11}Sn_3$ hat hexagonal dichteste Packung mit einer Überstruktur nach $2a$[1]). Mn_2Sn ($Mn_{2,05-1,77}Sn$) kristallisiert im aufgefüllten NiAs-Typ[2]). $MnSn_2$ und $FeSn_2$[3]) sind mit dem C-16-Typ isomorph. Die gleiche Struktur hat auch das von O. NIAL[4]) bestimmte Gitter $CoSn_2$, das im Strukturbericht[5]) als eigener Typ angegeben wurde. Bei dem besonderen Achsenverhältnis c/a sowie infolge des Parameters $x = 1/6$ bilden die Zinnatome parallel zu den (110)-Ebenen, hexagonale Netze, die sich gegenseitig durchdringen. Die Paarbildung, wie es beim $CuAl_2$ der Fall ist, fehlt hier.

$Mn_{11}Sn_3$: $a' = 2a = 5{,}65_0$; $c = 4{,}50_6$ Å; $c/a = 1{,}59_3$
Mn_2Sn: $a = 4{,}39_3 - 4{,}37_0$; $c = 5{,}45_7 - 5{,}475$ Å; $c/a = 1{,}242 - 1{,}250$
$MnSn_2$: $a = 6{,}64_7$; $c = 5{,}43_4$ Å; $c/a = 0{,}817$
$FeSn_2$: $a = 6{,}53_0$; $c = 5{,}32_8$ Å; $c/a = 0{,}816$

Eine ausführliche Mitteilung erscheint demnächst in der Z. Metallkde.

Stuttgart, Kaiser Wilhelm-Institut für Metallforschung, den 1. Oktober 1943.

H. NOWOTNY. K. SCHUBERT.

[1]) Isomorph mit Mg_3Cd; U. DEHLINGER, Z. anorg. u. allg. Chem. **194**, 223 (1930).

[2]) F. LAVES, H. J. WALLBAUM, Z. angew. Mineral. **4**, 2 (1941/42).

[3]) F. EHRET, A. WESTGREN, J. amer. chem. Soc. **55**, 1339 (1933), gaben eine hexagonale, gleich große Zelle an. Tatsächlich ist die Struktur nur pseudohexagonal.

[4]) Z. anorg. u. allg. Chem. **238**, 287 (1938).

[5]) M. v. LAUE, G. MENZER, Strukturbericht **6**. Leipzig: Akad. Verl.-Ges. 1941.

Das Atomgewicht des Berylliums

Beim Vergleich der aus den Ergebnissen kernphysikalischer und massenspektroskopischer Untersuchungen berechneten mit den chemisch bestimmten Atomgewichten verschiedener Elemente fällt unter anderem auch beim Beryllium eine in Anbetracht des niedrigen Wertes dieser Konstante relativ erhebliche Divergenz zwischen den beiden Zahlengrößen auf. Der internationale Tabellenwert von 9,02 ist um fast $1‰$ größer als der neueste, von FLÜGGE und MATTAUCH[1]) angegebene massenspektroskopische Wert 9,0126, während die Genauigkeit einer modernen chemischen Präzisionsanalyse mindestens 1:10000 beträgt. Ich unternahm deshalb eine Revision des Atomgewichts des Berylliums und wählte als Bestimmungsmethode die Messung des Berylliumchlorids mit Silber, die schon einmal von HÖNIGSCHMID und BIRCKENBACH[2]) durchgeführt worden war. Diese hatten ein geschmolzenes, wasserfreies, sublimiertes Berylliumchlorid analysiert und bekamen als Ergebnis Be = 9,018. Bei meiner Arbeitsweise wurde das Halogenid aus reinstem Berylliumoxyd und Zuckerkohle im Chlorstrom bei Rotglut synthetisiert, dann in einer Apparatur aus Jenaer Glas einmal im Chlorstrom, einmal im Stickstoffstrom und dreimal im Hochvakuum sublimiert, ohne das Salz zu schmelzen, und dadurch ein Angreifen des Gefäßmaterials vermieden. Das sublimierte Chlorid stellte eine schneeweiße, pulverige, mikrokristalline Masse dar. Die reine Substanz wurde in evakuierte Kugeln aus Jenenser Glas abgefüllt, zugeschmolzen zur Wägung gebracht, die Kugeln unter Wasser zerschlagen, die Lösung durch einen gewogenen Platin-Neubauer-Tiegel abgegossen und das Scherbengewicht festgestellt. Im Filtrat wurde das Chlorion mit Silber gemessen, und zwar in üblicher Weise mit Hilfe des Nephelometers, wobei die beiden Verhältnisse $BeCl_2$:2 Ag:2 AgCl ermittelt wurden.

11 Bestimmungen des Verhältnisses $BeCl_2$:2 Ag ergaben Werte, die zwischen den Grenzen 9,015 und 9,012 lagen, woraus sich der Mittelwert $9{,}013 \pm 0{,}0007$ berechnet, und 10 Messungen des Verhältnisses $BeCl_2$:2 AgCl führten zu den Grenzwerten 9,015 und 9,011 mit einem Mittel von $9{,}013 \pm 0{,}0012$. Als derzeit wahrscheinlichsten Wert des Atomgewichts des Berylliums glaube ich 9,013 ansehen zu können, der mit dem massenspektroskopischen Wert Be = 9,0126 völlig identisch ist. Um die Frage nach dem wahren Atomgewicht des Berylliums beantworten zu können, beabsichtige ich noch eine Analyse des sublimierten Berylliumbromids durchzuführen.

Herrn Professor Dr. O. HÖNIGSCHMID sei für die Erlaubnis, in seinem Privatlaboratorium arbeiten und alle seine Apparaturen benutzen zu dürfen, auch an dieser Stelle herzlichst gedankt.

München, Chemisches Laboratorium der Universität, den 2. November 1943. TH. JOHANNSEN.

[1]) S. FLÜGGE u. J. MATTAUCH, Ber. dtsch. chem. Ges. **76**, 1 (1943).

[2]) O. HÖNIGSCHMID u. L. BIRCKENBACH, Ber. dtsch. chem. Ges. **55**, 4 (1922).